



电力设备与新能源行业研究

买入（维持评级）

 行业深度研究
 证券研究报告

新能源与电力设备组

分析师：姚遥（执业 S1130512080001）

yaoy@gjzq.com.cn

分析师：张嘉文（执业 S1130523090006）

zhangjiawen@gjzq.com.cn

太空光伏专题（三）辅材篇：轻量化、柔性化、高壁垒带来新机遇

投资逻辑：

当前太空光伏正由高成本砷化镓路线，向高性价比晶硅、晶硅-钙钛矿叠层方向逐步迭代，叠加低轨卫星星座规模化部署与单星功率持续提升，卫星太阳翼全面走向轻量化、柔性化、高收纳比，倒逼封装与配套辅材体系重构。太空场景下，受到原子氧侵蚀、高能粒子辐照、极端冷热循环、真空四大核心约束，辅材在配方、结构、可靠性上的技术壁垒显著高于地面光伏。

需求端看，全球通信卫星进入高增速发射阶段，算力卫星步入规划落地期，推动太空光伏装机需求量由百 MW 向百 GW 级别迈进，太阳翼面积与单星功率的大幅提升，将直接带动导电浆料、封装材料（盖板/基板、胶粘剂）、汇流互联等辅材需求扩容。由于航天产业链对材料可靠性的要求极高，零部件重量对发射成本影响的敏感性较大，太空辅材价值量有望显著高于地面同类产品，成为光伏产业链新的高附加值赛道。

导电浆料：太空环境提高低温浆料性能门槛。太空光伏以 HJT、钙钛矿等低温电池路线为主，金属化需在 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 条件下完成，对浆料体系提出特殊要求。由于低轨原子氧会侵蚀银电极，太空高能辐射也易造成材料性能衰减，还需要防范“红瘟疫”腐蚀风险，因此纯银浆料仍然是现阶段的主流方案。对于厂商来说，太空浆料的最终应用需要通过热循环、抗辐照、低逸气等严苛航天测试，验证周期长、壁垒高，具备低温浆料技术积累与航天适配能力的企业有望快速切入供应链。

正面盖板与基板：柔性太阳翼催生 CPI、UTG 膜需求。传统刚性玻璃盖板重量大、无法折叠，难以满足大面积太阳翼高收纳比需求，无色透明聚酰亚胺 CPI 与超薄柔性玻璃 UTG 成为下一代封装材料可选方向。CPI 薄膜具备轻量化、柔韧性等优势，可通过分子改性实现抗辐照、抗原子氧等能力的提升，有望率先导入海外市场；UTG 玻璃具备天然抗原子氧、高透光、高表面硬度等优势，适配柔性封装。

胶粘剂：空间级硅胶为目前主流方案，胶膜企业积极研发布局。太空环境对胶粘剂的耐高低温、抗紫外、低出气、高粘附稳定性要求严苛，空间级有机硅胶成为当前主流选择，但存在成本高、封装工艺复杂等问题。行业正积极推进改性环氧树脂、UV 固化胶、改性 POE、丁基胶等新型方案，兼顾可靠性与低成本，适配晶硅、钙钛矿、砷化镓等多技术路线。具备地面高端胶膜技术积累，并完成航天环境验证的企业，有望在封装环节实现国产替代。

互联片：可伐材料、导电胶或成为太空互联片趋势。空间太阳电池阵由多块单体电池经导电材料互联构成，目前空间太阳电池互连片普遍采用纯银材质，长寿命、低成本、柔性化趋势下，可伐合金具备优异的抗原子氧侵蚀能力、且可降低成本，企业积极推进研发；导电胶等低温焊接技术可降低超薄硅片碎片及脱焊风险，或将成为后续趋势。

投资建议与估值

太空光伏已进入通信奠基、算力启航的高速增长期，柔性太阳翼渗透率快速提升，航天级辅材成为产业链关键瓶颈与高盈利环节。建议围绕四大主线布局：一是适配低温与太空环境的导电浆料；二是柔性封装核心 UTG/CPI 盖板与基板材料；三是潜在空间级封装胶粘材料；四是高可靠性互联材料。**重点推荐：钧达股份，聚和材料，福斯特**（完整组合详见报告正文）。

风险提示

商业航天产业发展不及预期，卫星发射量不及预期，辅材技术迭代不及预期。



内容目录

1 太空环境、低成本柔性化趋势对辅材提出了新要求.....	5
2 导电浆料：太空环境提高低温浆料性能门槛.....	7
2.1 太空光伏向高性价比晶硅路线转向，导电浆料需强化空间环境适应性.....	7
2.2 浆料企业贱金属工艺均已取得量产突破，积极开拓太空应用.....	9
2.2.1 聚和材料：导电浆料龙头布局 HJT 路线，技术延伸至太空光伏.....	9
2.2.2 帝科股份：N 型导电银浆占据主导，铜基少银金属化引领行业量产实践.....	10
2.2.3 苏州固得：光伏导电浆料产品矩阵持续完善，超低银含技术实现量产突破.....	10
3 正面盖板/基板：柔性封装与太空场景带动 CPI 薄膜、UTG 玻璃需求.....	11
3.1 卫星太阳翼向柔性化发展，CPI 薄膜与 UTG 玻璃成为封装材料新方向.....	12
3.2 UTG 玻璃企业：航天级超薄玻璃完成技术跃迁，加速向太空光伏延伸.....	16
3.2.1 蓝思科技：30-60μm 航天级 UTG 适配柔性太阳翼需求.....	16
3.2.2 凯盛科技：UTG 全产业链优势铸就柔性显示材料领先地位.....	16
3.3 CPI 薄膜企业：PI 材料突破透光率瓶颈，国产化进程加速.....	16
3.3.1 钧达股份：性能领先的太空光伏封装材料，全面适配卫星组网需求.....	16
3.3.2 瑞华泰：自主掌握 CPI 核心技术，多维拓展航天与柔性显示新应用.....	17
3.3.3 沃格光电：已形成 CPI 浆料-制膜-镀膜全产业链能力，柔性太阳翼基材实现在轨验证.....	17
3.3.4 福斯特：自研 PI 材料已实现商业化应用，联合下游积极开发 CPI 产品.....	18
3.3.5 奥来德：PSPI 光刻胶实现稳定供货，向航空航天高端领域延伸.....	20
4 胶粘剂：太空环境提出高要求，胶膜企业积极研发布局.....	20
4.1 空间级硅胶材料匹配太空环境，但成本较高、封装复杂.....	20
4.2 胶膜企业多路线布局，积极推进空间封装材料研发.....	21
4.2.1 福斯特：有机硅、光转膜、丁基胶等多路线布局，技术研发+客户资源优势显著.....	21
4.2.2 赛伍技术：光转膜产品持续交付，积极布局钙钛矿及柔性封装.....	22
4.2.3 鹿山新材：多技术路线布局太空光伏封装.....	23
5 互联片：可伐材料、导电胶或成为太空互联片趋势.....	24
5.1 长寿命、低成本、柔性化趋势下，可伐材料、导电胶或成为太空互联趋势.....	24
5.2 焊带、导电胶企业积极推进太空互联技术研发.....	25
5.2.1 宇邦新材：光伏焊带龙头，太空互联材料技术研发推进.....	25
5.2.2 德邦科技：叠瓦导电胶龙头.....	26
6 投资建议：关注具有技术优势、卡位优势的龙头标的.....	26
7 风险提示.....	28



图表目录

图表 1: 不同轨道高度环境成分不同	5
图表 2: AMO 和 AM1.5g 光谱的强度和范围均有差异	6
图表 3: CIC 是太阳能电池阵组成的基本单元, 电池为 CIC 封装的基本单元	6
图表 4: 玻璃盖板、密封胶用于电池封装, 栅线、互联片实现电流导出	7
图表 5: CIC 辅材与地面组件辅材对比	7
图表 6: 银包铜粉呈现典型“铜核-银壳”核壳结构	8
图表 7: 银在原子氧暴露下的表面形貌随暴露时间加速劣化	8
图表 8: 太空导电浆料技术壁垒与验证难度显著高于地面产品	8
图表 9: 太空浆料产品迭代核心验证门槛严苛	9
图表 10: 聚和材料银包铜+OBB+原材料国产化+超细线印刷方案可实现 HJT 成本大幅降低	10
图表 11: 帝科股份自研银包铜粉包覆致密性及粒径均匀度优于竞品	10
图表 12: 公司低温银浆技术路线, 从低银化到超低温的全面布局	10
图表 13: CIC 封装结构示意图	11
图表 14: 聚酰亚胺材料原子氧环境暴露前后 SEM 表面形貌分析照片	11
图表 15: 掺铈玻璃相较于不掺铈玻璃, 抗辐照着色性能明显提升	12
图表 16: 现阶段商业航天对太阳翼提出轻量化与高收纳比需求	13
图表 17: UTG 与 CPI 在柔性、透光与轻量化方面各有优势	13
图表 18: UTG 的制备分为一步成型法和二步成型法	14
图表 19: UTG 玻璃的弯折半径最低可达到 1.5mm	14
图表 20: PI 长期使用温度达 400°C, 处于材料性能金字塔顶端	15
图表 21: PI 薄膜被选择应用于嫦娥四号, 抵抗月球强辐射与大温差极端环境	15
图表 22: 传统 PI 呈现深琥珀色	15
图表 23: 图表 17: 蓝思科技航天级 UTG 在厚度、透光率等核心指标上优于德国肖特	16
图表 24: 凯盛科技已构成 UTG 全产业链核心技术专利布局	16
图表 25: 钧达股份 SCPI 膜在透光率与原子氧耐受性上优于海外对标产品	17
图表 26: 瑞华泰掌握 PI 薄膜全流程制备工艺, 具备从聚合到成膜的完整产业化能力	17
图表 27: 沃格光电 CPI 膜材具备超薄、轻质、柔韧性强等物理特性	18
图表 28: 沃格光电 CPI 薄膜透光率超 90%、耐温超 360°C, 核心性能指标优异	18
图表 29: 福斯特挠性覆铜板 FCCL 产品以 PI 为原材料	19
图表 30: 福斯特干膜型阻焊材料产品以 PI 为原材料	19
图表 31: 福斯特在聚酰亚胺领域专利布局完善	19
图表 32: 奥来德 PSPI 四款产品全线突破, 常规型号已实现稳定供货	20
图表 33: 陶氏 93-500 空间级硅胶密封胶与福斯特 EVA 胶膜主要参数对比	20



图表 34: 福斯特光伏产品布局全面	21
图表 35: 福斯特有机硅产品应用结构	22
图表 36: 福斯特在 UV 固化材料领域专利布局	22
图表 37: 光转膜技术原理	23
图表 38: 赛伍技术光伏材料布局	23
图表 39: 平行间隙电阻焊接原理示意图	24
图表 40: 低成本互联片、组件连接片	25
图表 41: 基于不同技术的临近空间用柔性太阳能电池组件	25
图表 42: 宇邦新材主要研发项目	25
图表 43: CIC 辅材迭代方向及相关标的	27
图表 44: 相关标的估值表 (亿元, 倍)	27



1 太空环境、低成本柔性化趋势对辅材提出了新要求

我们在太空光伏系列深度一《技术篇》中指出，太空光伏的技术路线在高性价比诉求下将进入迭代阶段，短期看晶硅是相对成熟、性价比较高的技术，长期维度晶硅/钙钛矿叠层、钙钛矿多结电池有望得到快速的发展。本篇《辅材篇》，我们着眼于砷化镓、晶硅/钙钛矿叠层等技术路线需要的辅材，挖掘相关赛道技术趋势及投资机会。

《技术篇》中我们梳理太空环境的特点主要集中在以下方面：

1) 水、氧、太空辐射

不同于大气层内是一个充满了水、氧气的环境，在绝大多数太空环境中，水和氧的丰度极低，可以近似认为是“极端真空”或“接近绝对真空”，但不同的轨道高度仍然面临不同的原子或质子影响。

低地球轨道（LEO）定义为离地表 20-1200km 的高度范围，环境中原子氧（AO）含量高达 80%-90%，分子氮（N₂）约占 10%-20%，随着轨道高度增加、各组分密度有所减小，而原子氧的高密度（>10⁵/cm³）会一直维持到 700km 以上，因此也成为低轨环境中对航天器影响最为重要的因素之一。

在轨道上，原子氧和航天器的相对运动速度较大，原子氧相对动能高达 5eV 左右，足以引起表面材料的化学反应；并且原子氧本身具有强氧化性，可以与表面材料直接发生反应，产生氧化、溅射和剥蚀等作用。

中地球轨道（MEO, 1200-36000km）及地球同步轨道（GEO, 36000km），涉及地球外辐射带中心区域，外辐射带的电子能量可以高达 MeV，同时电子通量随着时间或空间有数个量级的变化，是一个完全动态的系统；而 MeV 级别的高能电子具有极强的穿透性，同时可以通过充放电效应破坏太阳翼。

图表1：不同轨道高度环境成分不同

	高度	主要成分	特点	在轨卫星种类
低地球轨道（LEO）	20-2000km	N ₂ 、O ₂ 、Ar、He、H 和 O	原子氧含量约为 80%、氮分子含量约为 20%、气体总压为 10-8-10-5Pa	遥感卫星、通信卫星、空间站
中地球轨道（MEO）	2000-36000km	高能粒子、原子氢、原子氮	几乎无原子氧和氮分子、存在高能粒子辐射、深层充电	导航卫星
地球同步轨道（GEO）	36000km	高能粒子、热等离子体、空间碎片	高能电子通量极高、几乎无原子氧和氮分子、深层充电	通信卫星、导航卫星

来源：《商业卫星和配套设备研制及应用技术开发》，国金证券研究所

2) 温度循环周期短、跨度大

太空是一个冷黑背景，航天器在受到太阳辐照时温度急剧上升，当运行到地球阴影区时温度又急剧下降，例如空间站每 90 分钟绕地球一圈完成一次“昼夜交替”，向阳时航天器表面温度飙升至 150℃ 以上，背阴时温度骤降至 100℃ 以下，对电池片在短时间的极大温差下仍能保证稳定的发电能力提出了较高的要求。

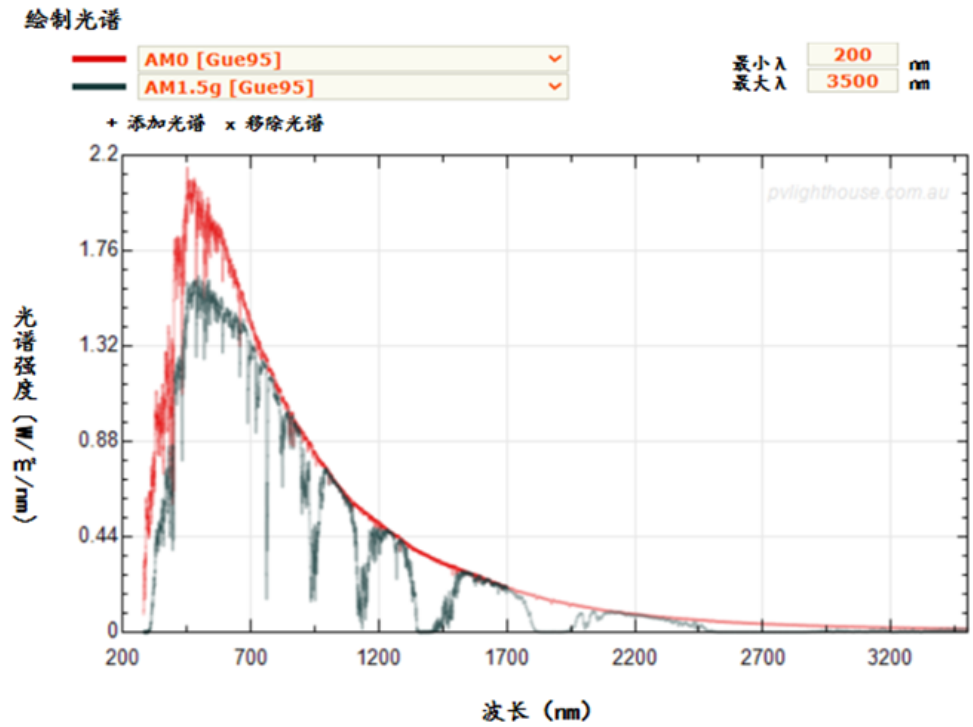
3) 光照强度和光谱范围差异

太阳光的辐照强度随着与太阳的距离越远而减弱，由于大气层对太阳光有反射、漫散射、吸收等作用，实际达到地面的太阳辐照强度只有 30% 左右，研究上将地面接收到的太阳光称为标准光谱 AM1.5g，光强定义为 1000W/m²；太空中的太阳光谱称为 AM0，光强约为 1361W/m²。

同时太阳光谱范围有着巨大的差异，在太阳光穿过大气层到达地表的过程中，波长小于 300nm 的光（紫外波段）被大气层中的氧气、臭氧、氮气吸收，波长为 900nm、1100nm、1400nm、1900nm 的光（近红外）被水蒸气吸收，1800nm 及 2600nm 的光（短波红外）被 CO₂ 吸收，中波、长波红外光几乎无法到达地面。



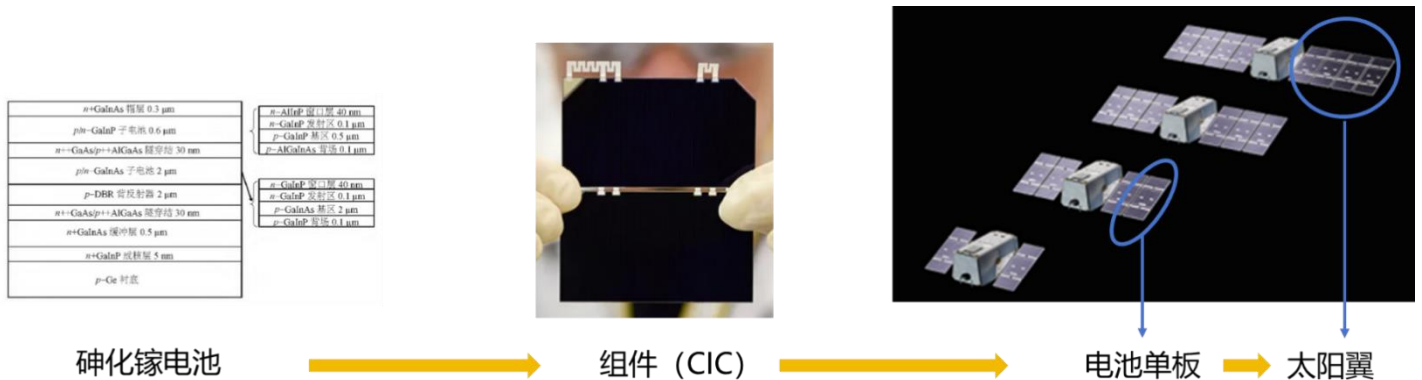
图表2: AM0 和 AM1.5g 光谱的强度和范围均有差异



来源: pvlighthouse, 国金证券研究所

在航天器领域, CIC (单元/单元互连组件) 为卫星太阳翼电池阵组成的基本单元, 可类比于地面端的组件环节。

图表3: CIC 是太阳电池阵组成的基本单元, 电池为 CIC 封装的基本单元



来源:《国外空间太阳能电池阵先进制造技术综述》, Rocket Lab,《空间太阳能电池抗辐照性能提升研究》, 国金证券研究所

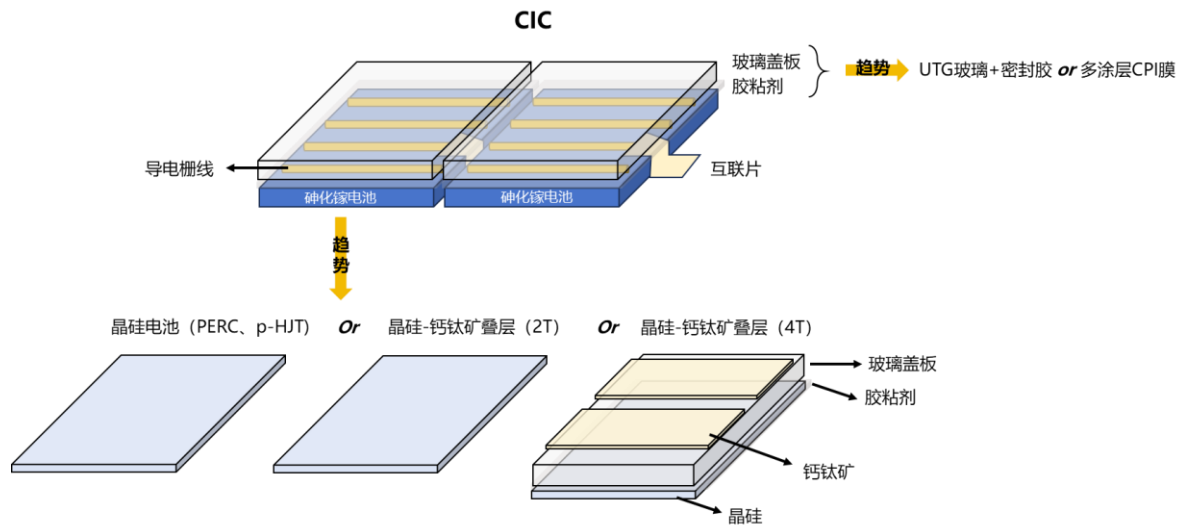
由于太空环境与地面差异较大、太阳翼结构对柔性和轻量化的需求不同于常规地面场景, CIC 辅材的选择和互联封装形式也有一定差异。

以砷化镓为例, 目前常规组件级产品结构包括: 砷化镓电池 (含导电浆料)、正面玻璃盖板 (掺铈)、基板 (碳纤维面板、铝蜂窝复合材料)、胶粘剂 (液态硅胶)、互联材料 (高纯银箔), 与地面相比变化较大:

- 1) 太空环境、技术路线差异导致导电和互联材料需求及用量变化;
- 2) 除密封、保护要求外, 太空封装材料需起到抗原子氧、抗辐射、抗高温变化等作用, 相较地面封装材料, 材料选择差异较大, 价值量显著提升。
- 3) 展望后续, 考虑大功率卫星需要太阳翼具备柔性、轻量化、低成本特点, 有望带来 CPI 膜、UTG 玻璃等新的封装材料需求。



图表4: 玻璃盖板、密封胶用于电池封装, 栅线、互联片实现电流导出



来源: 国金证券研究所绘制

图表5: CIC 辅材与地面组件辅材对比

	地面组件	CIC-当前体系	CIC-发展方向 (柔性化、低成本)	相关标的
技术路线	晶硅 (N 型 TOPCon、BC、HJT 等)	刚性砷化镓、P 型晶硅	柔性砷化镓、晶硅 (P 型 HJT)、晶硅/钙钛矿叠层	/
电池片-导电浆料	银浆、贱金属浆料	纯银浆料	低温纯银浆料	聚和材料、帝科股份、苏州固得
组件/CIC-正面盖板	压延玻璃	掺铈玻璃盖板	UTG 玻璃、CPI 膜	钧达股份、福斯特、
组件/CIC-底层底板	玻璃/背板	铝蜂窝夹层板	聚酰亚胺 (PI)/铝箔 (Al)/聚酰亚胺 (PI) 结构	蓝思科技、凯盛科技、沃格光电、瑞华泰 等
组件/CIC-胶粘剂	EVA/POE/EPE 树脂胶膜	空间级有机硅胶	改性硅胶、改性环氧树脂、UV 固化胶等	福斯特、赛伍技术、鹿山新材 等
组件/CIC-汇流	焊带 (镀锡铜带)	贵金属焊带 (高纯银箔)	可伐材料、导电胶等	宇邦新材、德邦科技 等

来源: 国金证券研究所梳理

2 导电浆料: 太空环境提高低温浆料性能门槛

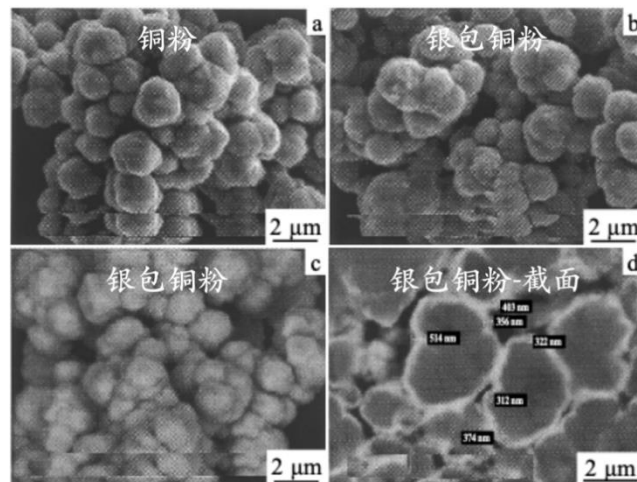
2.1 太空光伏向高性价比晶硅路线转向, 导电浆料需强化空间环境适应性

导电浆料是太阳能电池金属化工艺中不可或缺的核心辅材, 无论采用哪种电池技术路线, 均需通过导电浆料实现电极制备与电流导出, 浆料的成分与工艺直接决定电池的转换效率与长期可靠性。

在地面光伏领域, 降本增效是行业发展的核心驱动力。地面异质结电池采用的低温银包铜浆料与当前主流 TOPCon 电池所用的浆料有两个最大的不同: 1) 低温固化工艺, 常规银浆依靠高温烧结去除浆料组分中的有机物、熔融玻璃相等, 以形成更低电阻的欧姆接触, 而 HJT 电池由于低温制程, 需在 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 低温条件下完成金属化, 依靠树脂固化, 浆料体系与传统银浆不同。2) 率先实现贱金属浆料的量产应用, 目前行业已具备银含量 $\leq 20\%$ 的银包铜浆料在 HJT 电池中的批量应用能力, 并持续向更低银含量方向攻关, 银含量 10% 和 5% 的配方已经处于实验室研发阶段, 同时纯铜浆料作为无银化的中长期技术方向, 已在实验室层面验证了基本原理并开始尝试小规模工艺验证。



图表6: 银包铜粉呈现典型“铜核-银壳”核壳结构

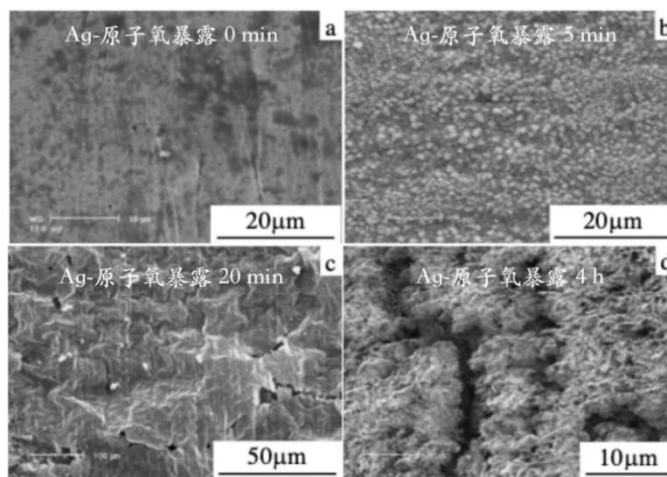


来源:《高银含量银包铜粉镀层结构及性能研究》, 国金证券研究所

在太空光伏领域, 由于与地面应用环境的本质差异, 导电浆料面临截然不同的技术要求, 太空环境面临高能粒子辐射、低地球轨道上-196°C至 150°C的极端温差、以及特有的原子氧侵蚀等挑战。

抗辐射与抗原子氧是太空浆料必须解决的核心难题。研究表明, 未经防护的银材料在原子氧通量达到每平方厘米 3×10^{20} 个原子时即出现明显氧化和剥蚀, 银与原子氧反应会生成不导电的氧化银, 而紫外辐照会进一步加剧这一过程。为此, 太空浆料需要进行特殊配方设计, 包括掺杂铈等稀土元素以捕获自由基、抑制辐射诱导的色心形成; 在银颗粒表面包覆纳米级氧化物防护层, 或采用有机-无机杂化涂层技术形成致密防护, 可使原子氧侵蚀率降低两个数量级以上。

图表7: 银在原子氧暴露下的表面形貌随暴露时间加速劣化



来源:《银在原子氧环境中的氧化行为》, 国金证券研究所

另一个难题在于控制银栅线的“红瘟疫”腐蚀风险。研究表明当镀银导体的银镀层存在孔隙或裂纹等缺陷时, 暴露的铜芯与银层在电解质环境下会形成原电池, 铜作为阳极发生牺牲性腐蚀, 将导致栅线的机械强度显著下降, 导电性能持续劣化。根据航天标准 ECSS-Q-ST-70-20C 的要求, 为防止红瘟疫腐蚀, 航天用镀银导体的银镀层厚度需 $\geq 2\mu\text{m}$ 且缺陷率必须控制在可接受范围内。因此, 在太空高可靠性应用场景中, 纯银浆料仍是首选方案。

图表8: 太空导电浆料技术壁垒与验证难度显著高于地面产品

对比维度	地面导电浆料	太空导电浆料
工艺温度	500-850°C 烧结 (PERC/TOPCon)	$\leq 200^\circ\text{C}$ 固化 (HJT/钙钛矿等低温电池结构)
材料方案	银包铜为主 (银含量可低至 10%-20%), 纯铜浆料进入小批量	纯银浆料为首选方案

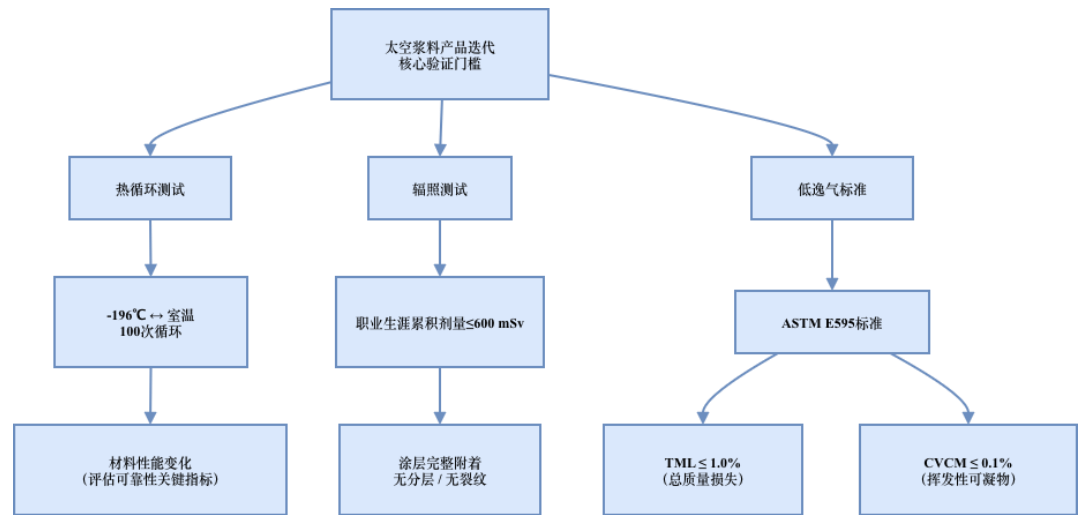


红瘟疫风险	不涉及	银壳缺陷暴露铜核→原电池反应→铜牺牲性腐蚀
抗辐射要求	无特殊要求	需耐受高能粒子与宇宙射线辐照
抗原子氧	不涉及	需抵抗低轨原子氧侵蚀
配方特点	以降本为核心导向	需掺杂特定元素（如铈等稀土）调节稳定性
验证标准	地面可靠性测试	航天级地面模拟测试：热循环、辐照、原子氧，外加在轨验证
进入壁垒	中	极高，验证周期长、成本高昂

来源：《低温固化导电银浆的导电性能影响因素综述》，《银包铜粉及聚合物导体浆料制备与性能研究》，国金证券研究所

最后，验证门槛也是太空浆料在产品迭代上相较于地面最为突出的壁垒。太空浆料必须通过极端严苛的环境适应性考核。热循环测试方面，日本宇宙航空研究开发机构和美国国家航空航天局的联合研究提出，复合材料在零下196℃至室温之间进行100次热循环后，其性能变化是评估航天材料可靠性的关键指标。辐照测试方面，需承受相当于低地球轨道运行四年的累积辐射剂量，此过程中材料涂层是否保持完整附着、不出现分层或裂纹是评估指标之一。此外，太空浆料还需满足航天领域通用的低逸气标准，美国国家航空航天局制定的ASTM E595标准要求航天用材料的总质量损失不超过百分之一、挥发性可凝物不超过千分之一。各类验证测试的周期长达数年，仅单批次可靠性测试就需数月时间，后续还需通过实际卫星搭载进行在轨验证。漫长的验证周期、高昂的测试成本以及航天级质量体系要求，共同构筑了极高的行业进入壁垒。

图表9：太空浆料产品迭代核心验证门槛严苛



来源：国金证券研究所绘制

2.2 浆料企业贱金属工艺均已取得量产突破，积极开拓太空应用

2.2.1 聚和材料：导电浆料龙头布局HJT路线，技术延伸至太空光伏

公司是全球光伏导电浆料出货量龙头，HJT低温导电浆料市场份额全球领先，是东方日升的长期供应商。相关高性能导电浆料在耐极端环境、抗辐射、长期稳定性等核心指标上表现领先，凭借这一技术优势，部分产品已实现商用卫星太阳翼实际应用。

此外，子公司德朗聚已开发出“高性能太空光伏用导电胶产品”，适配p-HJT纯银浆料和叠瓦导电胶。HJT电池金属化需在≤200℃低温条件下完成，与太空光伏主流技术路线高度契合。公司已在HJT领域实现20%及以下银含的银包铜浆料大批量量产，并布局“种子层+铜浆”无银化方案。



图表10: 聚和材料银包铜+OBB+原材料国产化+超细线印刷方案可实现 HJT 成本大幅降低

产品	类型	CCS	网版开口 (μm)	技术特点
副栅	GSP-T2F 纯银副栅	FC012	14	SMBB 正背面细栅
	GSP-T2C 银包铜副栅	RT-FXC	15	30-50%银含
主栅	GSP-T2M 纯银主栅	DLS-1X	26	行业最低湿重产品
	GSP-T2S 合金主栅	DLS-3X	26	低银含

来源: 聚和材料公众号, 国金证券研究所

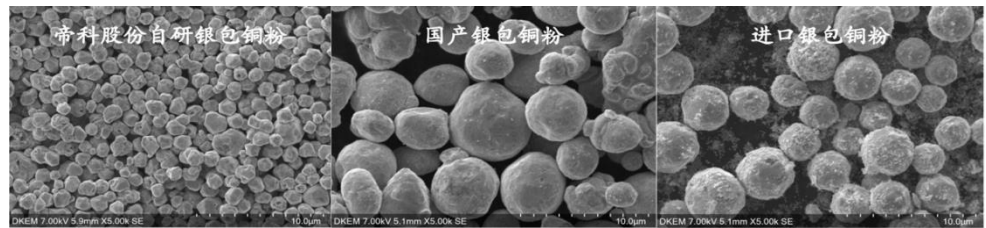
2.2.2 帝科股份: N型导电银浆占据主导, 铜基少银金属化引领行业量产实践

公司是全球领先的光伏导电浆料供应商, 2025 年完成对浙江索特的控股并购, 整合全球领先的光伏银浆技术体系与知识产权组合, 市场份额进一步提升。

公司相关导电浆料产品已用于商业航天卫星太阳翼。针对不同商用太空光伏电池技术路线, 公司已开发储备耐辐射、耐极端冷热冲击等严苛工况条件下的太空级高可靠性导电浆料产品与技术, 部分电子元器件浆料产品也已应用于卫星通信领域。公司从三个技术维度进行布局, 包括当下成熟的 P 型 PERC 电池技术、中期重点开发的 P 型 HJT 电池技术, 以及长期战略布局的钙钛矿叠层电池技术, 均已储备相应的高可靠导电浆料产品。

公司在 HJT 领域率先实现从 50%到 20%各银含量节点的产品推出与大规模量产, 约 10%超低银含量银包铜产品已完成可靠性验证与量产实践。公司高铜浆料解决方案已在下游战略龙头客户处实现规模化量产与出货。公司明确积极布局太空光伏用超高可靠性金属化与互联材料, 适配不同技术路线的太空光伏技术。

图表11: 帝科股份自研银包铜粉包覆致密性及粒径均匀度优于竞品



来源: 公司专利 CN119057065A, 国金证券研究所

2.2.3 苏州固得: 光伏导电浆料产品矩阵持续完善, 超低银含技术实现量产突破

全资子公司苏州晶银低温浆料市占率位居全球第二, 是国内最早研发及量产 HJT 浆料的企业。公司低温银浆产品已实现从 50%到 10%银含量节点的产品推出与大规模量产, 5%银含产品正在研发测试中。

公司已在拓展太空光伏领域的应用, 对太空地点、环境、辐射等难题均有针对性研发, 产品技术参数已达到航空航天类电池组件标准。钙钛矿叠层电池超低温银浆已完成实验室研发, 在客户端测试验证优异, 为下一代柔性太空光伏电池做好浆料技术储备。

图表12: 公司低温银浆技术路线, 从低银化到超低温的全面布局

项目名称	项目目的	最新进展	关键参数/指标
异质结电池用精细线印刷低温固化银浆	开发适用于 HJT 电池的低温固化银浆	已量产	与 TCO 优异接触性能、高效低耗量、超细线印刷能力、高焊接拉力
异质结电池用银包铜低温导电浆料	采用银包铜粉替代纯银, 降低成本	已量产	银含量 10%-20%; 性能与纯银浆料相当; 窄开口网版印刷性良好
BC 电池用银包铜低温导电浆料	满足 BC 电池降本需求	已量产	满足 BC 电池低温要求, 银包铜部分替代纯银, 具备良好印刷性
钙钛矿叠层电池超低温纯银浆料	研发用于钙钛矿叠层电池的超低温浆料	实验室研发完成	性能指标达到行业先进水平
TOPCon/BC 电池用银包铜浆料	拓展银包铜技术在 TOPCon/BC 路线应用	开发成功	技术储备行业领先

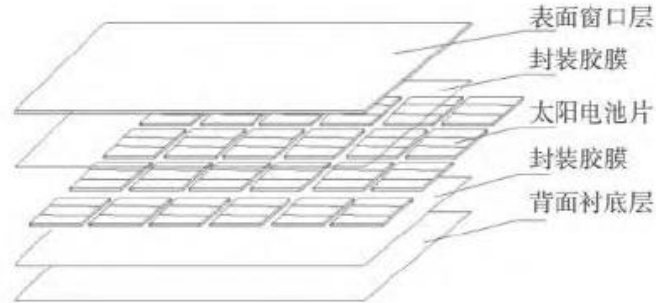
来源: ifind, 国金证券研究所



3 正面盖板/基板：柔性封装与太空场景带动 CPI 薄膜、UTG 玻璃需求

封装是 CIC 生产的关键环节，主要起到将电池与基板连接、保护等作用，CIC 封装材料主要分为正面盖板（表面窗口层）、胶粘剂（封装胶膜）、基板（背面衬底层）三大部分。

图表13: CIC 封装结构示意图

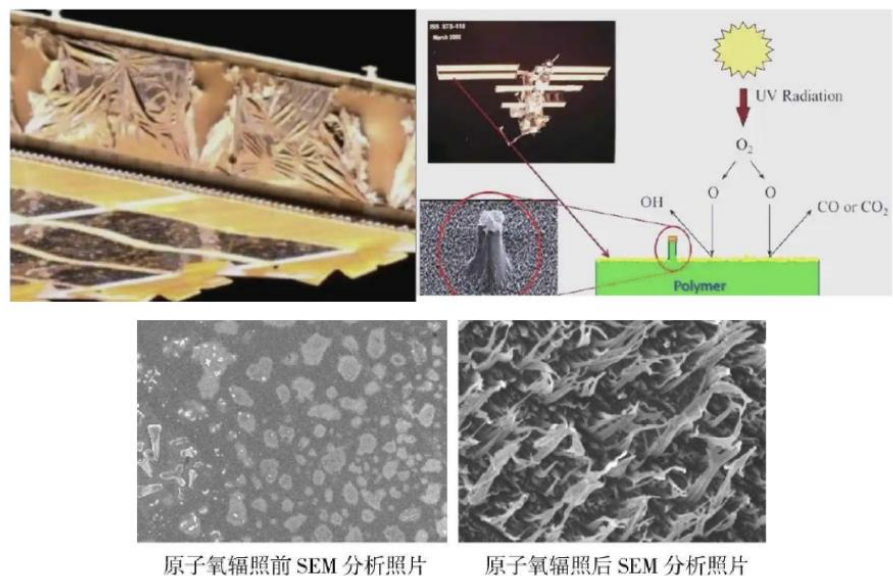


来源：《临近空间飞行器太阳能电池应用现状及发展趋势》，国金证券研究所

太空环境对 CIC 封装体系构成了独特而严峻的挑战：

- 1) 原子氧(AO): 在低轨高度(尤其是<1000km), 残余大气中以原子氧为主, 其具有极强的氧化性, 对有机高分子材料(如环氧树脂、聚酰亚胺、胶粘剂)会产生严重的剥蚀作用, 导致材料变质、性能退化甚至失效。
- 2) 紫外(UV)辐射: 太阳紫外辐射能量高, 会使高分子材料的化学键断裂, 导致聚合物主链降解, 表现为胶粘剂变黄、发脆、透光率下降, 从而增加光学损失, 降低电池输出功率。
- 3) 带电粒子辐射: 虽然低轨的总剂量远低于 GEO, 但仍存在电子和质子辐射, 它们会导致盖片玻璃染色(变暗)或柔性光学膜损伤, 降低其透光率, 同时也会造成电池本身的性能衰减。
- 4) 热循环: 低轨卫星频繁进出地球阴影区, 导致其经历极端的高低温循环(典型范围约-100°C ~ +100°C), 这种剧烈的温度交变会在封装材料内部产生周期性热应力, 可能导致材料疲劳、开裂、脱层, 以及互联条断裂。
- 5) 微流星体及空间碎片: 高速撞击可能造成盖片或电池的机械损伤。
- 6) 真空环境: 真空出气会导致胶粘剂中的挥发性成分逸出, 这些逸出物可能聚集在盖片、封装膜内表面或电池上, 形成污染层, 影响发电效率。

图表14: 聚酰亚胺材料原子氧环境暴露前后 SEM 表面形貌分析照片



来源：《基于商业航天低轨应用的太阳能电池低成本封装技术展望》，国金证券研究所



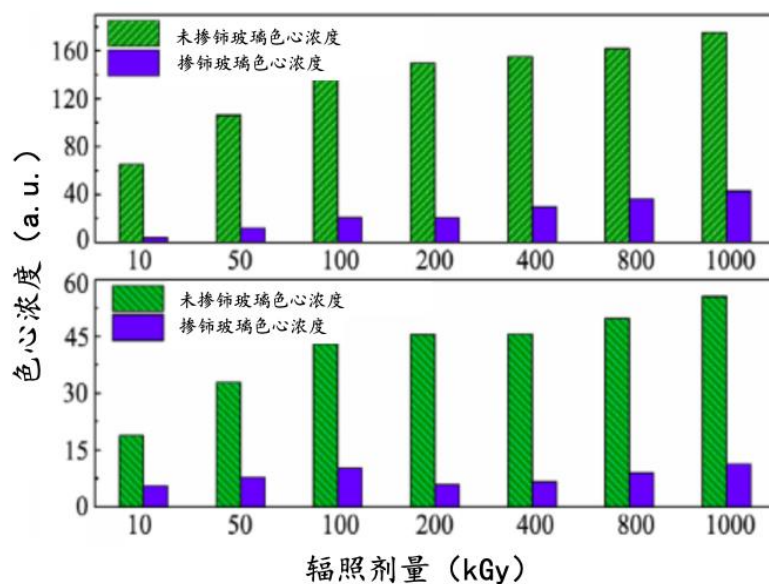
基于太空环境的挑战,CIG 低成本封装方案必须满足以下要求:

- 1) 抗辐照与环境保护:封装盖片必须能有效阻挡绝大部分高能粒子;整个封装体系必须能隔绝原子氧,防止其对内部材料的侵蚀。
- 2) 高光学性能与稳定性:盖片需具有高初始透光率和有效的抗反射(AR)涂层;胶粘剂必须具有优异的 UV 稳定性,长期在轨不变黄,保持高透光率。
- 3) 优良的热管理能力:封装结构需具有良好的导热路径,能将电池工作时产生的热量及时传导至散热面,控制电池工作温度(高效率的前提);同时,各材料间的热膨胀系数(CTE)应尽可能匹配,以耐受严酷的热循环。
- 4) 可靠的机械支撑与保护:为脆性的电池芯片提供坚固的支撑,保护其免受发射阶段剧烈振动和冲击的影响,并能承受一定的微流星撞击。
- 5) 轻量化:对于大规模星座,每减轻 1 公斤重量都能带来可观的发射成本节约。因此,高比功率 (W/kg)是核心追求之一。
- 6) 工艺可行性与低成本:封装工艺必须适于自动化、批量化生产,流程简单,成品率高,以最终实现成本的显著降低。

3.1 卫星太阳翼向柔性化发展,CPI 薄膜与 UTG 玻璃成为封装材料新方向

正面盖板主要起到保护作用,当前 CIG 普遍采用具备抗辐射性能的玻璃盖片进行电池片封装。玻璃具有较高的透光率,但太阳翼所用的封装玻璃要求在卫星运行的生命周期内保持稳定的性能,而玻璃在长时间的高能粒子辐照下,内部硅氧键(Si-O-Si)会经历断裂和重组,从而导致色心(缺陷)的形成,这些色心吸收特定波长的光,导致材料变色,因此航天玻璃通常掺杂铈元素来抑制辐射导致的变色现象。

图表 15: 掺铈玻璃相较于不掺铈玻璃,抗辐照着色性能明显提升



来源:《Radiation induced color centers in cerium-doped and cerium-free multicomponent silicate glasses》, 国金证券研究所

根据太空任务的具体需求与限制条件,常规刚性太阳翼一般选用一定厚度的玻璃材料(熔融石英 or 玻璃盖片)以提供结构稳定性、增强防护性能。盖板玻璃厚度通常在毫米级以上,呈现刚性特质,无法弯折,难以满足柔性太阳翼对折叠收纳的需求。

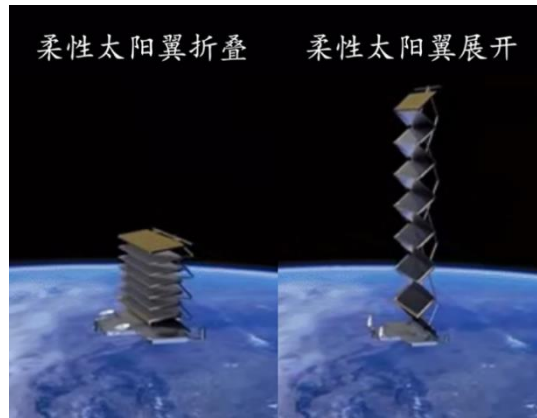
基板是空间太阳能电池阵电路的安装基础,主要起到支撑、保护作用。传统刚性太阳翼采用碳纤维面板、铝蜂窝复合材料作为基板,厚度 18-22 毫米,具有良好的刚度和强度;半刚性太阳翼采用了玻璃纤维网状结构,具备轻量化、高压安全性、高承载性以及空间环境的强防护性,一定程度减轻太阳能电池翼的重量。

在航天发射成本以每公斤数千甚至上万美元计量的背景下,传统玻璃盖片、刚性及半刚性基板的重量逐渐成为不可忽视的负担;更关键的是,其刚性结构导致太阳翼在发射阶段无



法紧密折叠，严重限制了收纳比，与单星功率向百千瓦级迈进所需的大面积太阳翼趋势形成矛盾。

图表16: 现阶段商业航天对太阳翼提出轻量化与高收纳比需求



来源：银河航天公众号，国金证券研究所

因此，在电池明确向着轻量、柔性两个方向迭代时，在保留航天玻璃本征优势的前提下，减重、柔韧成为下一代封装材料迭代的重要方向。

柔性CIG正面盖板材料主要向超薄柔性玻璃(UTG)、无色透明聚酰亚胺(CPI)方向迭代；柔性基板采用多层复合薄膜结构，如“聚酰亚胺(PI)/铝箔(Al)/聚酰亚胺(PI)”三明治结构，PI层提供绝缘和基体，铝箔层用于屏蔽电磁干扰(EMI)并辅助导热和阻挡AO，外层PI可进行表面处理以增强抗AO和UV能力。在此过程中，UTG、PI成为重要的发展方向。

图表17: UTG与CPI在柔性、透光与轻量化方面各有优势

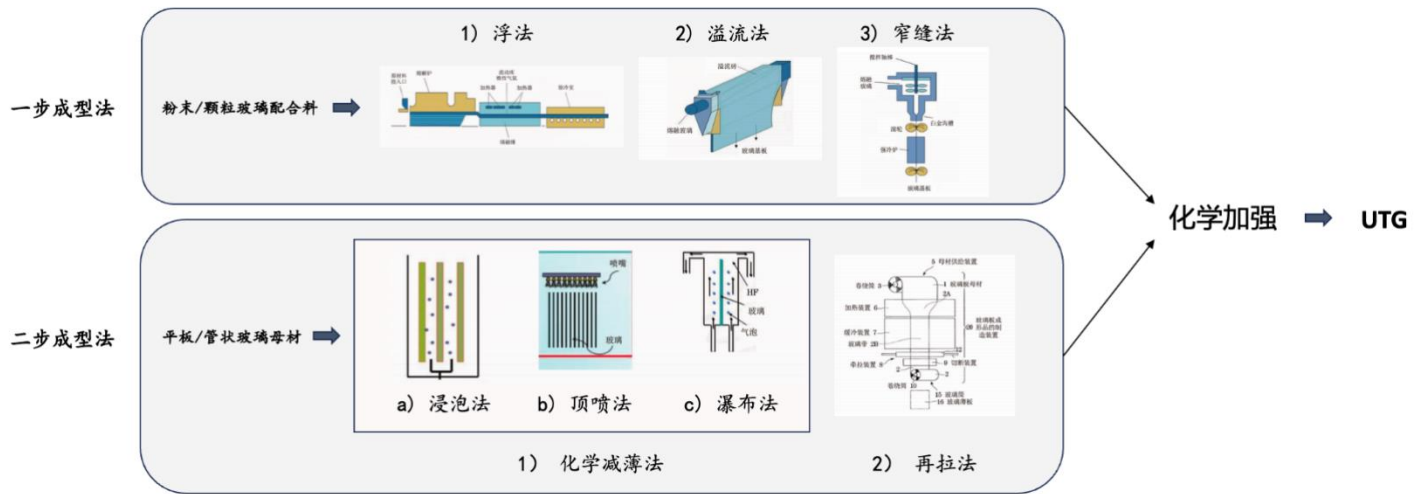
性能指标	超薄柔性玻璃 (UTG)	无色透明聚酰亚胺 (CPI)
厚度	<100 μm	40-80 μm (可薄至10-20 μm)
密度	约 2.5 g/cm ³	约 1.4 g/cm ³
透光率	约 90%	>90% (380-780nm 波段)
弯折半径	R<1.5mm	R<1mm (配合 LLO 技术)
断裂伸长率	<1%	15%-25%
杨氏模量	72 GPa	3.2 GPa
表面硬度 (未涂层)	9H	<1H
折射率	约 1.51	1.5-1.55
热稳定性 (Tg/耐温)	软化点>600°C	Tg>250°C (最高>450°C); 耐-269°C至 400°C
热膨胀系数 (CTE)	~3.2 ppm/K	3-10 ppm/K
水汽透过率 (WVTR)	约 10 ⁻⁶ g/m ² /day (本征)	约 10 ⁰ g/m ² /day
抗原子氧性能	天然抗原子氧	需涂层防护
加工温度	高温加工	低温制程

来源：《OLED Screen Module Design | Flexible Substrates, Color Gamut & Durability》，国金证券研究所整理

超薄柔性玻璃 (Ultra-Thin Glass, UTG) 突破了传统玻璃刚性不可弯折的局限，成为柔性盖板材料的优选方案。能够满足柔性显示、柔性太阳翼等场景对可弯折盖板材料的需求。UTG 的制备分为一步成型法和二步成型法两条技术路线。经化学强化处理后，UTG 弯折半径可降至 1.5mm 以下，表面压应力可有效抑制微裂纹扩展，使其能够承受发射阶段的剧烈振动和在轨热循环应力。

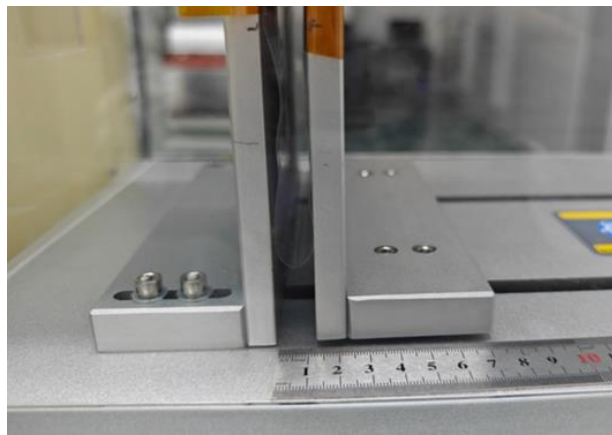


图表18: UTG 的制备分为一步成型法和二步成型法



来源:《柔性玻璃生产制备方法综述》, 国金证券研究所

图表19: UTG 玻璃的弯折半径最低可达到 1.5mm



来源: 央广网, 国金证券研究所

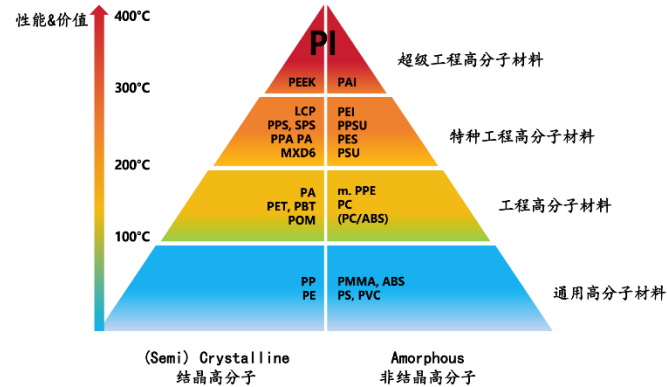
CPI 是 CIC 柔性封装的另一条迭代路径, 与 UTG 采用“减薄玻璃”的思路不同, 高分子材料因其分子链结构, 天然具备柔性和轻量化的特性, 可以从材料体系上进行根本性替代。

在一众聚合物待选项中, 聚酰亚胺 (Polyimide, PI) 在抗辐射性能、热稳定性、机械强度及轻量化等方面具备综合优势。热稳定性方面, PI 材料长期使用温度范围覆盖-260°C 至 300°C, 短期可耐受 500°C 以上高温; 机械性能方面, PI 的拉伸强度超过 200MPa, 断裂伸长率可达 30%至 70%; 化学稳定性方面, 耐大多数有机溶剂和弱酸弱碱; 耐辐射性方面, 在空间高能粒子辐照下 PI 能够保持结构完整性。

上述性能使 PI 薄膜在航天领域应用广泛, 例如在热控系统中作为多层隔热材料的组成层, 在绝缘防护中作为电缆绕包、电机绝缘及原子氧防护层, 在结构部件中作为柔性印刷电路板基材, 在空间充气结构中作为充气展开天线或舱段的结构材料等。

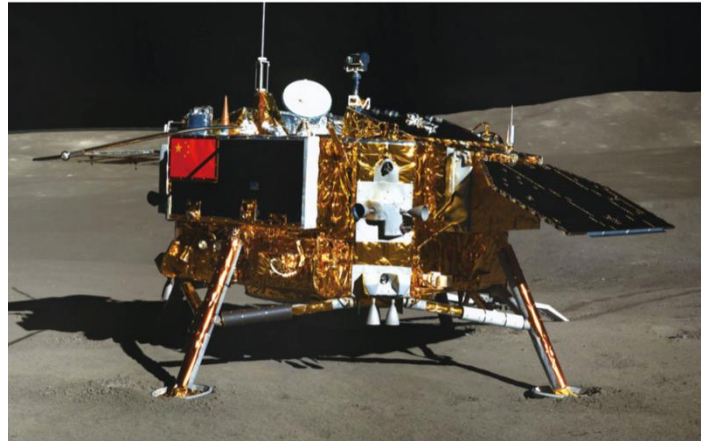


图表20: PI 长期使用温度达 400°C, 处于材料性能金字塔顶端



来源: 荣格塑料工业公众号, 国金证券研究所

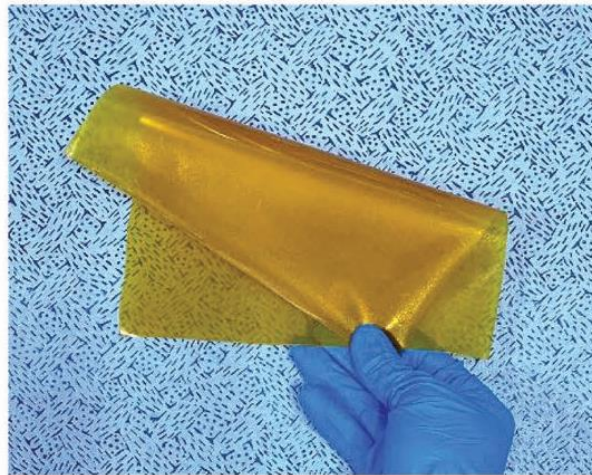
图表21: PI 薄膜被选择应用于嫦娥四号, 抵抗月球强辐射与大温差极端环境



来源: 荣格塑料工业公众号, 国金证券研究所

然而传统 PI 材料因其分子内强烈的电荷转移络合物效应而呈现深琥珀色, 可见光透过率不足 10%, 无法满足卫星太阳翼盖片、光学镜头防护等领域对高透过率的需求, 通常只可用于太阳翼底板。为此, 研究人员通过分子设计引入含氟基团、脂环结构或大体积取代基, 抑制分子间及分子内的电荷转移络合物效应, 成功开发出无色透明聚酰亚胺 (Colorless Polyimide, CPI) 薄膜, 在保留 PI 优异热稳定性、机械强度、化学稳定性和耐辐射性的基础上, 可见光透过率进一步提升至 90% 以上。

图表22: 传统 PI 呈现深琥珀色



来源: Double-Layer Nacre-Inspired Polyimide-Mica Nanocomposite Films with Excellent Mechanical Stability for LEO Environmental Conditions, 国金证券研究所

此外, CPI 更容易通过分子设计进行改性。研究人员可在聚酰亚胺分子链中引入含氟基团、脂环结构、大体积取代基或刚性非共面结构等, 以精准调控材料性能。例如, 引入含氟基团可降低分子间电荷转移效应, 在提升透明度的同时赋予材料优异的抗紫外线老化能力; 引入含磷二胺结构则可显著增强耐原子氧侵蚀性能, 这对低地球轨道航天器的长期在轨服役至关重要。通过这种分子层面的定制化设计, CPI 可在保持高透明度的同时, 兼顾抗辐射、耐高温、抗原子氧等多种极端环境适应性需求。

然而, 这种定制化的特性也使得 CPI 的制造难度显著增加。CPI 薄膜的制备是一场高难度的“分子设计”工程, 其核心挑战在于必须在实现高透明度的同时, 兼顾优良的机械强度、高热稳定性和尺寸稳定性等多重性能指标, 各项指标之间存在相互制约关系。从工艺层面看, CPI 的合成通常需经过二酐与二胺的缩聚反应, 再经高温热亚胺化或化学亚胺化处理, 反应条件苛刻、工艺窗口窄, 对单体纯度、反应环境及温度控制要求极高。正因如此, 聚酰亚胺薄膜与碳纤维、芳纶纤维一起, 被长期视为制约我国发展高技术产业的三大瓶颈性关键高分子材料, 极易陷入“卡脖子”困境。



3.2 UTG 玻璃企业：航天级超薄玻璃完成技术跃迁，加速向太空光伏延伸

3.2.1 蓝思科技：30-60μm 航天级 UTG 适配柔性太阳翼需求

公司致力于为国内外头部商业航天客户提供柔性太阳翼 UTG 盖板产品解决方案，以材料创新为基石，快速构建起“材料-部件-系统”的商业航天解决方案体系。

公司航天级 UTG 玻璃以其卓越性能成为柔性太阳翼封装的首选材料。UTG 玻璃厚度可达 30-60μm，弯折半径低至 1.5mm，帮助太阳翼实现“卷尺式”折叠，极大降低发射成本。透光率稳定在 93%以上，且具备抗原子氧、抗紫外线老化能力，在太空极端环境（高低温、强辐射、真空）下仍能保持长期稳定的光学与力学性能。

图表23：图表 17：蓝思科技航天级 UTG 在厚度、透光率等核心指标上优于德国肖特

对比维度	蓝思科技	肖特 SCHOTT（德国）
产品名称	航天级 UTG 柔性玻璃	SCHOTT® Solar Glass exos / 超薄柔性光伏盖板玻璃
厚度	30-50 μm	<70 μm
弯折半径	R1.5mm	未明确（柔性可卷绕）
透光率	93%-98%	91.80%
抗辐射性能	抗原子氧剥蚀、抗太空辐射	抗紫外线辐射、抗日晒（掺铈增强）

来源：SCHOTT Solar Glass exos 官方网站，玻璃工业网，国金证券研究所

3.2.2 凯盛科技：UTG 全产业链优势铸就柔性显示材料领先地位

公司是国内唯一覆盖“高强玻璃-极薄薄化-高精度后加工”的全国产化 UTG 产业链。公司联合中研院自主研发的 30 微米 UTG，产品性能领先，可应用于航空航天等领域。

公司近年新开发出 UTG 冷镀 ITO 产品，通过航天钙钛矿客户验证。当前公司 UTG 应用场景正在积极向航天柔性太阳能电池等前沿领域延伸开拓。年产 1500 万片 UTG 二期项目已完成主体产线建设，实现批量交付，主要用于折叠屏领域，产能可以满足当前市场需求。公司正在与 UTG 不同应用领域的厂商、研发机构共同推进 UTG 在航天等领域的应用。

图表24：凯盛科技已构成 UTG 全产业链核心技术专利布局

技术环节	专利名称	专利号	技术说明
原片与结构	不等厚柔性玻璃及其制备方法	CN115124250B	掌握不等厚柔性玻璃（UFG）加工工艺，实现更复杂形态的柔性玻璃制备。
加工与倒角	一种具有无损倒角的超薄柔性玻璃及其制备方法	CN119241083A	通过优化倒角设计，有效减少 UTG 在动态弯折中的应力集中，改善弯折性能并减少损伤。
涂层与增韧	一种涂层增韧超薄玻璃及其制备方法	CN120965124A	利用梯度模量特性涂层，攻克边缘防护技术难题，提升玻璃的抗冲击性和防爆性。
表面处理	一种涂覆于超薄柔性玻璃表面的复合涂层、玻璃盖板	CN119552565A	通过复合缓冲层及硬化层的成分设计，降低涂层收缩率并提高产品力学性能。

来源：公司专利 CN115124250B, CN119241083A, CN120965124A, CN119552565A, 国金证券研究所

3.3 CPI 薄膜企业：PI 材料突破透光率瓶颈，国产化进程加速

3.3.1 钧达股份：性能领先的太空光伏封装材料，全面适配卫星组网需求

公司是行业稀缺的专业化光伏电池片厂商，2025 年末以光伏电池的太空应用场景为切入点开始全力布局航天业务。航天能源基座方面，公司合作上海星翼芯能，产品包括空间级钙钛矿电池、SCPI 材料等。

公司 SCPI（Space-grade Colorless Polyimide）薄膜是针对太空极端环境定制化的高性能 PI 材料，在抗辐照、耐高低温等适配性配方方面具备技术优势，兼容砷化镓、晶硅、钙钛矿等全电池技术路线，目前已完成太空环境下钙钛矿材料第一性原理验证。

CPI 薄膜技术壁垒高，长期以来由美日企业主导，国内传统 PI 企业在 CPI 材料的产业化进展上存在明显差异。公司除具备 CPI 薄膜的制备能力外，还拥有 PI 基材的技术储备，并已开发出具有原子氧防护功能的氧化物防护层，可有效解决空间环境中柔性基底面临的原子氧侵蚀问题，对卫星柔性太阳翼各应用区位的封装材料实现了全面布局。



2025 年 12 月，公司与上翼签署《战略合作协议》，围绕光伏技术前沿应用领域开展协同研发与产业化落地探索。公司以现金出资 3000 万元获得上翼 16.6667% 股权，后与上翼合作成立上饶捷泰航天（公司持股 70%），主要负责太空光伏相关产品的产业化。

图表25：钧达股份 SCPI 膜在透光率与原子氧耐受性上优于海外对标产品

性能指标	Kapton® HN	NeXolve CORIN® XLS	钧达股份 SCPI
透光率 (@450nm)	< 10%	> 85%	> 88%
原子氧侵蚀产额 (cm ³ /atom)	3.0 x 10 ⁻²⁴	1-5 x 10 ⁻²⁶	< 5.0 x 10 ⁻²⁶
玻璃化转变温度 (Tg)	> 380° C	> 250° C	> 300° C
热膨胀系数 (CTE)	30-50 ppm/° C	45-55 ppm/° C	15-25 ppm/° C

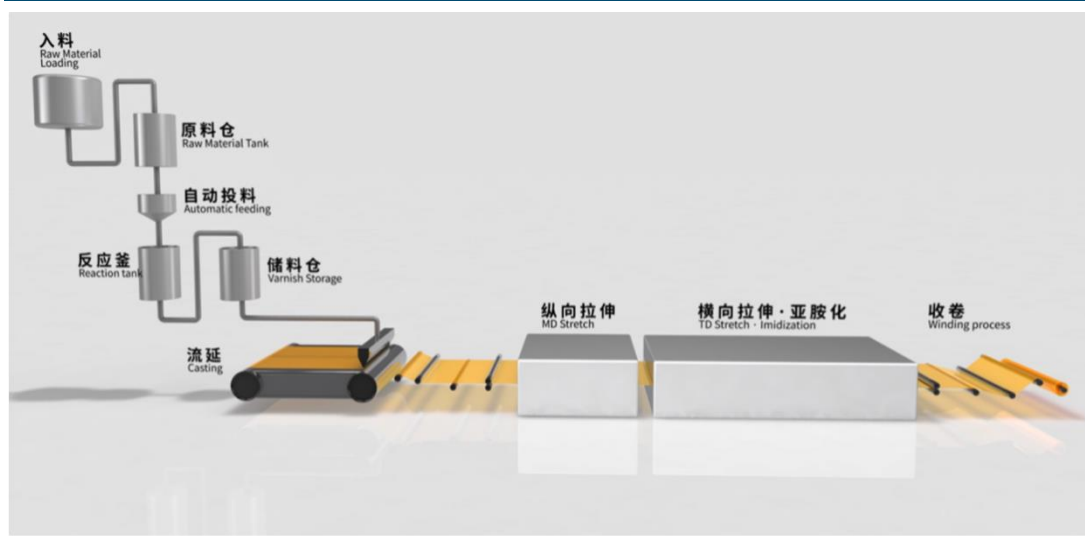
来源：Matweb 公开数据表，《钧达股份：太空级 SCPI 膜技术解析》，国金证券研究所

3.3.2 瑞华泰：自主掌握 CPI 核心技术，多维拓展航天与柔性显示新应用

瑞华泰是国内少数自主掌握 CPI 薄膜制备核心技术的企业，产品可折叠次数超过 20 万次，透光率、耐弯折等关键性能已通过国内终端品牌厂商评测，实现样品销售。公司柔性 OLED 用 CPI 薄膜项目光学级中试线处于装备与工艺优化阶段，正协同产业链攻关、推动产业化进程。

应用拓展方面，公司研发的一款 CPI 薄膜正在进行空间搭载评价，应用于低轨卫星领域以应对原子氧、空间辐照等环境挑战，截至目前反馈良好。在研项目中，“新一代折叠盖板用超高模量 PI 薄膜”目标模量大于 8GPa，为第二代 CPI 产品；“高韧性 CPI 膜项目”与“透明 CPI 浆料”分别拓展低成本 CPI 薄膜及柔性显示基材应用。此外，公司正开展 CPI 与 UTG 组合方案的研究，有望将两种材料打造为优势互补的产品解决方案。凭借自主核心技术体系与持续的产品迭代开发，公司 CPI 业务在柔性显示及航天等新兴应用领域的国产化替代进程中具备显著的先发优势。

图表26：瑞华泰掌握 PI 薄膜全流程制备工艺，具备从聚合到成膜的完整产业化能力



来源：深圳瑞华泰薄膜科技股份有限公司官网，国金证券研究所

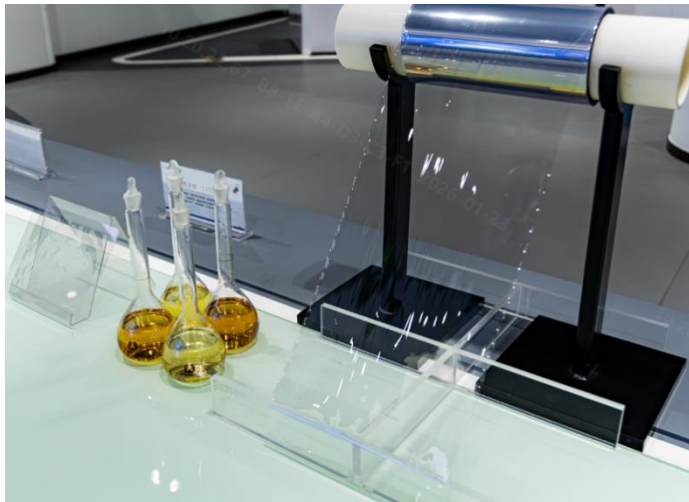
3.3.3 沃格光电：已形成 CPI 浆料-制膜-镀膜全产业链能力，柔性太阳翼基材实现验证

沃格光电是国内极少数具备“CPI 浆料-制膜-镀膜”全产业链生产能力的厂商，自主研发的 CPI 核心技术源于公司在玻璃基线路板转型过程中的技术积累，相关技术具备自主知识产权。

公司 CPI 膜材具备超薄、轻质、柔韧性强等物理特性，能承受发射阶段剧烈的折叠与太空中的反复展收。特种镀膜技术是公司的核心优势，通过精准控制膜层厚度与成分，能有效抵御高能粒子辐射、宇宙微碎片撞击、强烈紫外线照射以及原子氧侵蚀，同时维持高光学透射率，确保太阳翼在长期运行中保持高效稳定的发电性能。



图表27: 沃格光电 CPI 膜材具备超薄、轻质、柔韧性强等物理特性



来源：沃格光电集团官网，国金证券研究所

公司产品在轨应用已实现初步验证。2025 年，公司配合头部商业航天客户提供 CPI 膜材及防护镀膜产品，已实现柔性太阳翼基材的在轨应用，并正与其他客户推进送样测试。

公司在 CPI 浆料、制膜、镀膜的技术工艺上虽已打通相关环节，具备自主生产能力，但当前商业航天业务尚处于商业化落地初期，需求主要以研发验证及小批量为主，尚未形成大规模连续化的工业量产。公司看好商业航天柔性太阳翼发展趋势，随着卫星发射数量的提升以及单颗卫星太阳翼面积的增长，对于太阳翼柔性基材及防护镀膜的需求将高速增长，公司将继续加大柔性太阳翼产品的业务拓展。

图表28: 沃格光电 CPI 薄膜透光率超 90%、耐温超 360°C，核心性能指标优异

指标	高透光无色聚酰亚胺	耐高温透明聚酰亚胺
厚度 (μm)	30 ± 1	10 ± 2
玻璃化转变温度 Tg (°C)	>360	>420
热膨胀系数 CTE (ppm/°C)	<30	<50
热裂解温度 Td (°C)	>400	—
可见光平均穿透率 (%)	>90	>90
b 值	<0.5	<1
相位差 Rth	—	<20

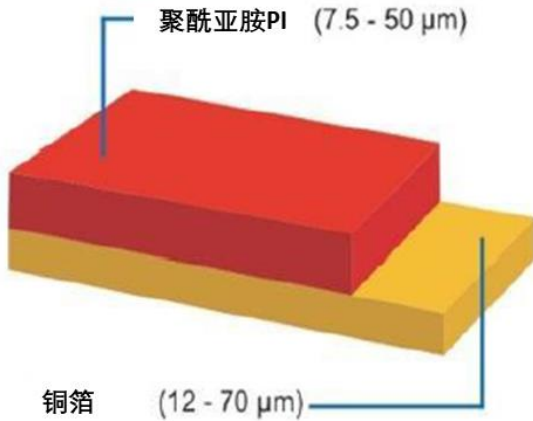
来源：沃格光电集团官网，国金证券研究所

3.3.4 福斯特：自研 PI 材料已实现商业化应用，联合下游积极开发 CPI 产品

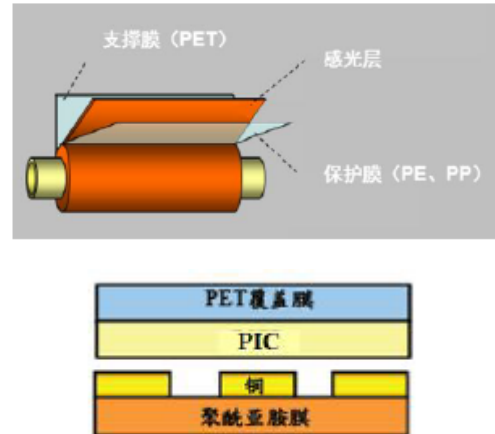
福斯特 2015 年起逐步切入电子材料领域，其中挠性覆铜板、干膜型阻焊材料产品以聚酰亚胺 PI 为原材料，广泛应用于智能手机、可穿戴设备、汽车电子及航空航天等领域。目前公司自主研发的 PI 材料技术在电子材料中已经得到商业化应用，具备 PI 材料技术和生产能力。



图表29: 福斯特挠性覆铜板 FCCL 产品以 PI 为原材料



图表30: 福斯特干膜型阻焊材料产品以 PI 为原材料



来源: 福斯特公司公告, 国金证券研究所

来源: 福斯特公司公告, 国金证券研究所

在薄膜制备环节, 公司掌握了 PI 薄膜的成膜工艺, 产品具有高透光率、低雾度及优异的耐浸焊性, 可应用于户外显示、柔性 OLED 屏等领域。

图表31: 福斯特在聚酰亚胺领域专利布局完善

专利号	专利名称	核心内容
CN202211565684.0	聚酰亚胺树脂、膜和制备方法、挠性覆铜板、电子器件	在 PI 中引入酯基结构单元, 通过特定的二酐与二胺组合, 使其具有较低的介电常数和较高的剥离强度, 与铜箔的 CTE 有良好的匹配性, 有利于应用于铜箔上的平整性及尺寸稳定性
CN202211188397.2	一种聚酰亚胺薄膜、挠性覆金属板及其制备方法	PI 薄膜具有粗糙面结构 (表面粗糙度 0.3-0.6 μm), 包括特定尺寸的褶皱结构; 将该薄膜与金属箔复合制得的挠性覆金属板层间剥离强度高, 优化了覆金属板制备工艺
CN202211338929.6	一种支撑体及其应用	用于制备 PI 薄膜的支撑体, 包括支撑层和离型层 (含 PI), 各层之间 CTE 差值为 0-8ppm/K, 结构稳定可反复使用, 离型层表面平整, 可制备较薄 PI 薄膜
CN201710562442.9	一种低模量感光性聚酰亚胺树脂组合物	含有碱溶性 PI、光敏剂、交联剂和纳米核壳橡胶增韧树脂, 具有低模量、高玻璃化转变温度和优异的感光性能, 适用于光刻工艺
CN201711071069.3	一种低模量、高粘结能力的热塑性聚酰亚胺组合物及其应用和制备方法	添加纳米核壳聚合物 (硬壳/软核结构, 粒径 100-200nm) 降低热塑性 PI 模量, 提高粘结能力, 降低热压合温度; 制成的双面挠性覆铜板粘胶强度高
CN201810760634.9	一种高玻璃化转变温度与高耐热的热固型聚酰亚胺及制备方法	将炔基酞类化合物引入 PI 分子链, 通过炔基官能团交联反应获得网状交联结构, 玻璃化转变温度极高, CTE 与玻璃接近, 符合柔性 OLED 面板对柔性基板的要求
CN201611235880.6	一种用于印刷电子的聚酰亚胺	具有光敏亲疏水响应性, 通过长烷基链二胺与四羧酸二酐聚合, 具有高玻璃化转变温度和优异的光敏响应性, 可用于印刷电子领域
CN201910213499.7	一种低介电常数聚酰亚胺杂化薄膜及应用	将氟化多孔纳米粒子 (二氧化硅、沸石、MCM-41、SBA-15 等) 与 PI 前体杂化, 经表面氟化处理降低介电常数损耗, 制得低介电常数 PI 杂化薄膜
CN201710263543.6	一种透明、感光性聚酰亚胺树脂组合物	本发明提供的透明、感光性聚酰亚胺树脂组合物具有透明、高玻璃化转变温度 (Tg) 和优异的感光性能, 因此适用于高度耐热透明保护层和绝缘层, 如液晶显示器设备

来源: 公司专利 CN202211565684.0, CN202211188397.2, CN202211338929.6, CN201710562442.9, CN201711071069.3, CN201810760634.9, CN201611235880.6, CN201910213499.7, CN201710263543.6, 国金证券研究所



基于在电子 PI 材料领域的技术研发积淀，公司目前正在和砷化镓、晶硅和钙钛矿等技术路线的光伏企业合作，共同开发和验证适用于新一代柔性太阳翼的 GPI、PI 材料。

3.3.5 奥来德：PSPI 光刻胶实现稳定供货，向航空航天高端领域延伸

公司主营有机发光材料、光敏聚酰亚胺 (Photosensitive Polyimide, PSPI)、薄膜封装材料及蒸发源设备。PSPI 材料是一种结合了 PI 优良物理化学性能以及光敏材料特性的功能性材料，作为 OLED 显示制程的关键光刻胶，已实现下游产线批量供货。

公司以 PI 为核心向上游材料领域延伸，重点布局柔性显示用 PI 相关材料的研发与产业化。通过对聚酰亚胺-酰亚胺共聚物等新型结构的设计与优化，公司在改善薄膜机械性能的同时保持较高透光率。公司已开展 PSPI 树脂组合物的开发，以提升 PI 薄膜的感光度、机械性能、耐化学性能以及耐热性能。产品主要应用于 OLED 显示面板制造领域。

在业务横向拓展方面，公司依托 OLED 蒸镀技术的同源优势，成功切入钙钛矿光伏装备赛道，并将应用场景延伸至太空光伏领域。目前 650mm×450mm 规格钙钛矿蒸镀机已完成性能调试，膜厚均一性控制在 ≤1.5%。2026 年 2 月，公司与上海港湾集团签署战略合作框架协议，联合研发适配太空环境的钙钛矿成套工艺及专用制造、检测设备，支撑空间钙钛矿光伏组件稳定量产，将“太空光伏”作为核心应用场景进行布局。

图表32：奥来德 PSPI 四款产品全线突破，常规型号已实现稳定供货

产品类型	进展状态
常规型号 PSPI	已通过下游量产线测试，实现稳定供货
高感光迭代型号	正在下游面板厂进行最后阶段测试，进展顺利
PFAS-Free PSPI (无氟光刻胶)	进入最后性能优化冲刺阶段
BPDL (黑色光刻胶)	进入最后性能优化冲刺阶段

来源：iFind，国金证券研究所

4 胶粘剂：太空环境提出高要求，胶膜企业积极研发布局

4.1 空间级硅胶材料匹配太空环境，但成本较高、封装复杂

地面光伏组件主要使用 EVA 胶膜、POE 胶膜、EPE 胶膜等进行封装，太空环境同样需要使用胶粘剂来实现电池片与正面盖板、底层基板的连接。

但太空环境与地面差异较大，原子氧会对胶粘剂材料产生严重的剥蚀作用，导致材料变质、性能退化甚至失效；紫外辐射会使高分子材料的化学键断裂，导致聚合物主链降解，表现为胶粘剂变黄、发脆、透光率下降；剧烈的温度交变会在封装材料内部产生周期性热应力，可能导致材料疲劳、开裂、脱层。因此，胶粘剂需要具有优异的 UV 稳定性、优良的热管理能力、轻量化等特点，同时具备工艺可行性与低成本。

目前太空光伏封装广泛使用液态硅胶（液态有机胶），其以液态形式注入并固化/密封，从而保护光伏电池、提升光电转换效率与长期可靠性。液态硅胶的主要成分是聚硅氧烷 (Si-O-Si)，其“有机-无机杂化结构”兼备有机材料的柔韧性和无机材料的热稳定性，具有优异的耐高低温性能 (-115°C~+260°C)、UV 稳定性 (不易黄变)、柔韧性和低模量，在抗辐射能力、低真空释气性等方面也具有显著优势，可较好匹配太空环境。

图表33：陶氏 93-500 空间级硅胶密封胶与福斯特 EVA 胶膜主要参数对比

	陶氏 DOWSIL™ 93-500 空间级硅胶	福斯特 F406P/F806P EVA 胶膜
外观/形态	双组液体，混合后固化	固体薄膜，成卷供应
固化方式	加热固化 (热固化)，温度越高固化越快	层压工艺中受热交联
混胶比例	10:1 (重量比)	不适用 (固态薄膜)
操作时间	2.5 小时 (@25° C)	不适用
表干时间	<16 小时	不适用
固化条件	2 小时@ 65° C; 30 分钟@ 100° C; 10 分钟@ 150° C	层压参数 (约 150° C)
介电强度	~18.9 kV/mm (480 V/mil)	≥28 kV/mm
体积电阻率	1.0×10 ¹⁵ Ω·cm (流动态) / 6.2×10 ¹⁴	≥1.0×10 ¹⁵ Ω·cm



	陶氏 DOWSIL™ 93-500 空间级硅胶	福斯特 F406P/F806P EVA 胶膜
	Ω · cm (触变型)	
导热系数	0.2 W/m · K	未明确列出
工作温度	-115° C 至 200° C	未明确列出, 长期户外耐候
粘结强度	剪切强度 475 psi (~3.3 MPa)	对玻璃 >60 N/cm; 对背板 >40 N/cm
拉伸强度	~6.7 MPa (975 psi)	≥16 MPa
断裂伸长率	170% (流动态) / 125% (触变型)	≥450%
硬度 (肖氏 A)	40 A (流动态) / 60 A (触变型)	不适用
密度/比重	~1.03-1.08 (流动态) / ~1.03 (触变型) / ~1.08	0.95-0.96 g/cm ³
透光率 (UV-Vis)	设计为高透明, 具体数值未明确	>91% (380-1100nm)

来源: 福斯特官网, 陶氏公司, 国金证券研究所

目前常用的航天级液态硅胶产品主要来自陶氏 (DOWSIL)、瓦克 (WACKER) 等品牌, 但价格较高, 且封装工艺复杂, 需要一定的时间等待固化 (2 小时@ 65°C; 30 分钟@ 100°C; 10 分钟@ 150°C)。为降低封装成本、简化封装工艺, 企业积极研发新型封装材料降本:

- 1) 改性环氧树脂: 通过对传统环氧树脂进行增韧、抗 UV 等改性, 在保证粘接强度和耐空间环境能力的同时, 提高其工艺性和可靠性, 且成本可控。
- 2) UV 固化胶: 可实现快速固化 (秒级), 极大提高生产效率, 适用于自动化生产线; 但在空间环境下的长期稳定性仍需进行全面验证。
- 3) 改性 POE 树脂、丁基胶: 低成本、柔性化趋势下, 太阳翼电池技术路线有望向晶硅/钙钛矿叠层迭代, 地面封装中晶硅/钙钛矿技术多使用 POE 树脂胶膜 (HJT 路线使用含转光剂的 POE 胶膜)、丁基胶等, 改性 POE 树脂、丁基胶有望成为下一代晶硅/钙钛矿叠层路线的封装方案。

4.2 胶膜企业多路线布局, 积极推进空间封装材料研发

4.2.1 福斯特: 有机硅、光转膜、丁基胶等多路线布局, 技术研发+客户资源优势显著

福斯特为全球最大的光伏胶膜供应商, 全面布局晶硅组件封装产品, 在 HJT 技术、钙钛矿技术、柔性组件技术等差异化技术所需的封装材料领域持续保持技术领先, 掌握 HJT 组件封装中应用的紫外截止 (截止膜) 和紫外转化 (光转膜) 等技术, 2025 年 10 月取得全球首张丁基胶的 TÜV 莱茵认证, POE 胶膜、截止膜、光转膜、丁基胶等产品可为 HJT 组件、钙钛矿组件提供全面的封装方案。

图表34: 福斯特光伏产品布局全面

公司产品

光伏胶膜
用于晶硅太阳能组件电池片正反面及薄膜太阳能组件发电层封装和保护的材料, 由原材料及制备工艺的不同分为 EVA 胶膜、白色 EVA 胶膜、EPE 胶膜、POE 胶膜等品类。

光伏背板
用于太阳能组件背面的耐候性保护材料。



光伏胶膜



光伏背板

<其他光伏产品>

<p>丁基胶 用于光伏组件密封, 凭借减银特性, 减少银浆使用, 提升资源利用效率。</p>	<p>皮肤膜 用于光伏组件柔性封装, 具备高透光与减银优势, 降低贵金属消耗。</p>	<p>PI 用于太空光伏基材, 具备轻量化、高可靠性, 助力航天场景高效发电。</p>	<p>CPI 用于柔性太空光伏器件, 轻薄耐候, 提升组件空间适应性及能源利用效率。</p>	<p>有机硅 用于太空光伏封装防护, 耐高温、抗辐照, 保障器件长期稳定运行。</p>
---	--	--	---	--

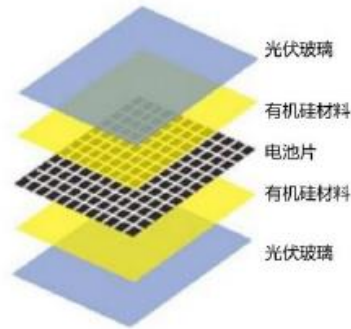


来源：公司公告，国金证券研究所

此外，福斯特在有机硅、UV 固化材料等领域已有技术积累，凭借领先的技术研发实力、全面的产品布局、及头部客户资源优势，有望在太阳翼封装领域开辟新的成长曲线。

公司 2016 年开始布局有机硅业务，产品主要用于 LED 灯和其他电子产品封装，2017 年公司有机硅 LED 封装材料开始向国内高端客户送样测试、同时掌握有机硅合成技术。

图表35：福斯特有机硅产品应用结构



来源：福斯特公司公告，国金证券研究所

图表36：福斯特在 UV 固化材料领域专利布局

专利号	专利名称	核心内容
CN202310767937.0	封装胶膜及光伏组件	实现了在 UV 固化缓冲层中沿靠近热固化粘结层的方向预交联度逐渐减小，从而既防止了封装胶膜流动性过快导致其渗透至焊带与电池片缝隙中形成虚焊的问题，又避免 UV 固化缓冲层整体预交联度过大导致层压过程中对电池片造成隐裂，同时可以防止引发剂发生迁移导致黄变及助剂析出问题，解决 HJT 电池封装易形成虚焊、出现电池片隐裂的问题。

来源：公司专利 CN202310767937.0，国金证券研究所

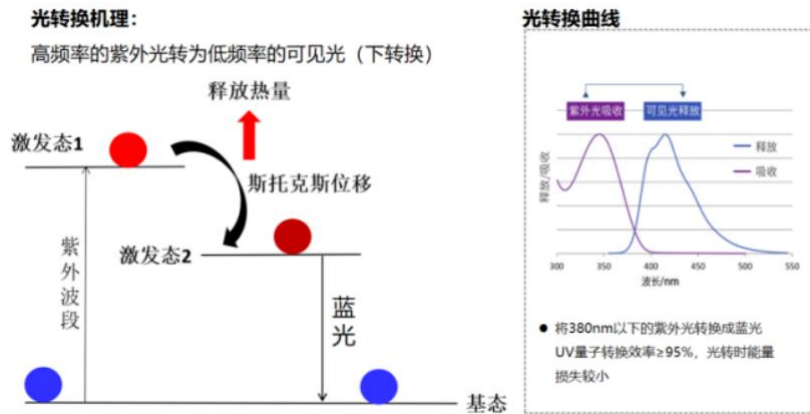
基于在有机硅、电子 PI 材料领域的技术研发及产品布局，公司目前正在和砷化镓、晶硅和钙钛矿等技术的企业合作，共同开发和验证适用于新一代柔性太阳翼的封装材料，全面布局太阳翼封装领域：PI/CPI 产品可以用于太阳翼底板基材和正面保护，有机硅可用于太阳翼电池片的正反面粘结，改性 POE/丁基胶等材料或将用于下一代晶硅/钙钛矿叠层电池封装。

4.2.2 赛伍技术：光转膜产品持续交付，积极布局钙钛矿及柔性封装

赛伍技术拥有光转膜核心原材料独家排他性专利授权，其光转膜产品 Raybo® 可以将 380nm 以下的紫外光（280-380nm）转换成蓝光（380-550nm），从而产生更多电能，同时光转膜可吸收对电池有损害作用的紫外线（UV），降低电池的老化速度，延长光伏组件的使用寿命。目前光转膜产品在异质结组件、TOPCon 组件客户处均处于量产交付状态。



图表37: 光转膜技术原理



来源: 赛伍技术公众号, 国金证券研究所

公司积极布局钙钛矿叠层组件封装材料, 近期与国内头部光伏企业达成钙钛矿光伏材料战略合作, 为合作企业钙钛矿组件提供一站式高分子材料解决方案, 包括 TPO 胶膜的批量交付意向以及 Raybo®光转膜, 低温层压胶膜等封装材料及阻水材料的验证。2025 年 TPO 胶膜全年出货量同比增长 208%, 客户群体已拓展至 50 余家, 且钙钛矿叠层组件用光转膜已达成对海外头部企业的小批量交付。

图表38: 赛伍技术光伏材料布局



来源: 赛伍技术官网, 国金证券研究所

此外, 公司已与国内顶尖科研院所及头部商业航天企业开展深度联合开发, 针对现有太阳翼及下一代太阳翼的封装方案及电路系统等核心技术路线进行产品攻关, 旨在满足商业航天对载荷轻量化、耐质子辐射、高低温冲击、耐 UV 及大规模高效组装的商业化需求; 目前应用于太阳翼的硅胶、封装胶膜、光转膜等产品已在下游客户测试中。

4.2.3 鹿山新材: 多技术路线布局太空光伏封装

鹿山新材深耕高分子封装材料领域, 针对太空光伏封装需求, 根据不同技术路线推出三类封装方案。

钙钛矿: 公司已开发出热塑型 TPO 胶膜、热塑型预交联 POE 胶膜、低克重柔性组件专用 TPO/POE 胶膜等多款专用产品, 其中低克重柔性组件专用胶膜已向脉络光能等客户批量出货。针对晶硅/钙钛矿叠层电池, 公司推出可低温交联的封装胶膜方案, 并为下一代 OBB



无主栅叠层电池开发配套可低温交联的皮肤膜产品。同时，公司基于光转与高反黑膜技术优势，开发适配单结钙钛矿的热塑型光转胶膜、高反射黑色胶膜。

砷化镓：公司推出的柔性封装方案显著提升与聚酰亚胺基板的粘接力，有效保护电池敏感层结构，可跟随太阳翼实现大曲率形变，无应力集中风险。该方案 2022 年通过多家头部航天企业验证并开始批量供货，已持续在客户批量应用多年。

P-HJT：公司自 2020 年起与钧石能源深度合作，聚焦 P 型 HJT 电池封装材料研发。双方开发的专用胶膜材料界面粘结力表现突出，目前该技术已进入头部航天厂商小批量验证阶段。

5 互联片：可伐材料、导电胶或成为太空互联片趋势

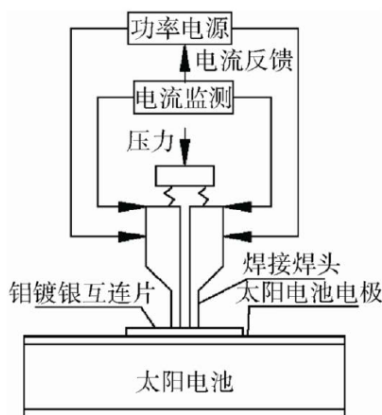
5.1 长寿命、低成本、柔性化趋势下，可伐材料、导电胶或成为太空互联趋势

空间太阳电池阵由多块单体电池经导电材料互联构成，空间太阳电池通过焊接将互连材料连到电池单元上并引出电极，然后通过串和/或并联以提供足够的能量，因此互联材料的连接可靠性直接影响电池电路的电能输出效率。

纯银的电导率 (63×10^6 S/m) 与热导率 (429 W/(m·K)) 均居金属材料之首，同时具有优异的塑性变形能力 (延伸率 >50%)，具有良好的加工性和可焊性，因此空间太阳电池互连片普遍采用纯银材质，并通过电阻焊工艺进行焊接。

当前砷化镓太阳电池阵普遍采用高纯薄带 (退火高纯度银箔) 实现电池片互连，电极材料选用钼电极，国内主要砷化镓太阳电池阵研制生产厂家均采用平行间隙电阻焊将银箔焊接到砷化镓太阳电池。平行间隙电阻焊接是一种基于焦耳热效应的连接技术，当电流通过接触面时，产生的焦耳热促使被连接材料的局部区域升温，在压力的作用下发生熔化和塑性变形，最终实现牢固连接。

图表39：平行间隙电阻焊接原理示意图

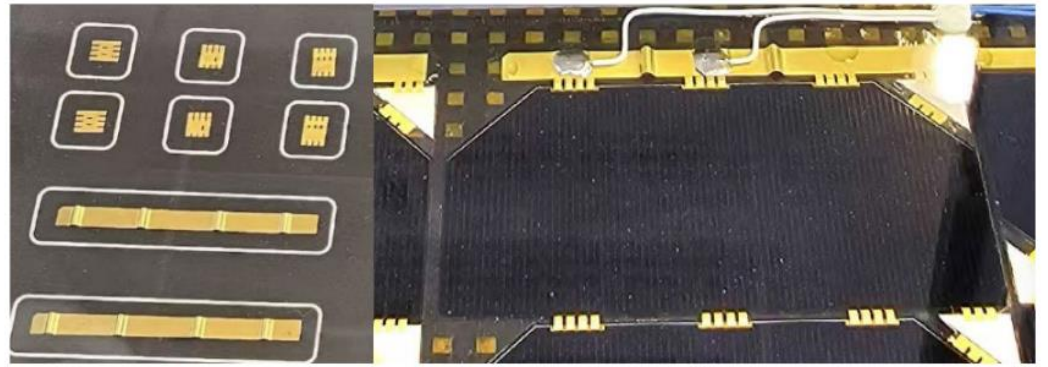


来源：《空间电源用银互连片的制备及相关应用基础研究》，国金证券研究所

随着长寿命、高可靠航天器的发展，航天器能源需求日益增长且服役周期不断延长，太阳电池翼在轨运行时需持续承受高剂量的原子氧侵蚀，纯银材料在此环境下耐腐蚀性能不足，易导致性能退化，威胁整个发电系统的长期可靠性。为此，我国航天领域已广泛将互连片材料替换为“可伐镀银”结构，即中间为铁钴镍合金 (可伐)，表面镀银。可伐合金导电性较纯银差约三十倍，但其具备优异的抗原子氧侵蚀能力，在太空环境中具有更强的稳定性，同时可降低成本。



图表40: 低成本互联片、组件连接片



来源:《基于商业航天低轨应用的太阳能电池低成本封装技术展望》, 国金证券研究所

此外, 柔性、轻量化、低成本趋势下, 太空电池片逐步向超薄硅片迭代, 传统焊接方式的高温焊接易造成硅片碎裂, 且硅与焊带膨胀系数差异较大, 太空极端温变加大了脱焊风险。为进一步优化组件性能, 导电胶等低温焊接技术或将成为后续趋势。

导电胶是一种固化或干燥后具有一定导电性的黏胶剂, 具有出色的耐湿耐热性和导电稳定性, 同时和焊带、锡、锡银及汇流条在一定温度及压力下具有很好的兼容性; 导电胶焊接采用 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 低温黏接工艺, 无需助焊剂, 可改善焊接过程中电池片形变导致的裂片问题, 适用于各型柔性太阳能电池器件尤其适配叠瓦路线。

叠瓦太阳能电池摒弃了传统的焊带串接电池结构, 将每单片太阳能电池通过导电胶连接焊接制作成串, 再将电池串通过串并联排版后层压成组件, 这样充分利用组件内的间隙, 在相同的面积下, 可以有效提高组件的布片率。但叠瓦位置厚度较大, 弯曲过程中叠加区域易产生应力集中。

图表41: 基于不同技术的临近空间用柔性太阳能电池组件



(a) 导电胶技术



(b) 叠瓦技术

来源:《临近空间用柔性晶硅异质结太阳能电池》, 国金证券研究所

5.2 焊带、导电胶企业积极推进太空互联技术研发

5.2.1 宇邦新材: 光伏焊带龙头, 太空互联材料技术研发推进

公司是国内光伏焊带龙头, 深耕光伏焊带领域近二十年, 产品涵盖 MBB 焊带、SMBB 焊带、OBB 焊带、多层复合焊带、超细黑色互联焊带、常规汇流焊带、反光汇率焊带、黑色汇流焊带等多个品类, 全面布局光伏组件焊接。

图表42: 宇邦新材主要研发项目

主要研发项目名称	项目目的	项目进展	拟达到的目标	预计对公司未来发展的影响
定向反射光学薄膜开发	通过将反光膜用于光伏组件的片间距、串间距及其他组件中光线利用率较低的区域, 增加组件中电池的受	已结项	显著提升光伏组件功率。	丰富公司产品类型, 保持公司研发



主要研发项目名称	项目目的	项目进展	拟达到的目标	预计对公司未来发展的影响
	光量，从而提高组件功率。			先进性。
高效背接触电池用高可靠无卤焊锡膏的研发	应用在背接触的光伏组件中，将电池与焊带进行连接，可实现焊带涂层厚度的减薄，同时提高焊点焊接拉力，提升组件整体的长期可靠性。	中试	提高背接触电池上的焊接拉力及组件可靠性。	丰富公司产品类型，巩固公司在行业中的领先地位。
N型电池组件用高效能多层复合焊带研发	通过引入密度更低、导电性能良好的材料，改变原有焊带结构，降低组件中的焊带成本，填补行业内多层复合焊带产品空白，保持公司技术水平的领先地位。	部分规格已批量	显著降低焊带用量，降低组件成本。	开拓焊带新型结构，引领焊带行业技术变革。
高反射 OBB 焊带的研发	通过改变焊带的表面结构，增加入射光的二次利用率，提升太阳能电池对太阳光的吸收利用率(即吸光率)，以降低光伏组件的封装功率损失，从而提升光伏组件的输出功率。	小试	显著提升光伏组件功率。	开拓焊带新型结构，推动行业新技术发展。

来源：宇邦新材公司公告，国金证券研究所

凭借光伏焊接技术积淀、客户资源优势，公司积极推进太空光伏互联技术研发，有望切入太空光伏互联市场。

5.2.2 德邦科技：叠瓦导电胶龙头

公司是国内光伏叠瓦导电胶的重要供应商，作为较早布局该领域的企业，公司叠瓦导电胶已实现多年稳定出货，为成熟量产产品，可以为光伏电池提供粘接、导电、降低电池片间应力等功效，具备优异导电性、粘接强度与耐候老化性能。目前，公司产品主要供应北美客户，且销量处于稳定增长阶段。

公司深耕叠瓦导电胶技术及产品多年，太空互联技术向低温焊接发展有望给公司相关材料带来发展机会。

6 投资建议：关注具有技术优势、卡位优势的龙头标的

随着太空光伏由高成本砷化镓路线向高性价比晶硅、晶硅-钙钛矿叠层方向逐步迭代，叠加低轨卫星星座规模化部署与单星功率持续提升，卫星太阳翼全面走向轻量化、柔性化、高收纳比，倒逼封装与配套辅材体系重构。太空场景下，受到原子氧侵蚀、高能粒子辐照、极端冷热循环、真空四大核心约束，辅材在配方、结构、可靠性上的技术壁垒显著高于地面光伏。

导电浆料环节，太空光伏以 HJT、钙钛矿等低温电池路线为主，金属化需在 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 条件下完成，对浆料体系提出特殊要求。由于低轨原子氧会侵蚀银电极，太空高能辐射也易造成材料性能衰减，还需要防范“红瘟疫”腐蚀风险，因此纯银浆料仍然是现阶段的主流方案。对于厂商来说，太空浆料的最终应用需要通过热循环、抗辐照、低逸气等严苛航天测试，验证周期长、壁垒高，具备低温浆料技术积累与航天适配能力的企业有望快速切入供应链。

正面盖板与基板是柔性太阳翼的核心载体。传统刚性玻璃盖板重量大、无法折叠，难以满足大面积太阳翼高收纳比需求，无色透明聚酰亚胺 CPI 与超薄柔性玻璃 UTG 成为下一代封装材料可选方向。CPI 薄膜具备轻量化、柔韧性等优势，可通过分子改性实现抗辐照、抗原子氧等能力的提升，有望率先导入海外市场；UTG 玻璃具备天然抗原子氧、高透光、高表面硬度等优势，适配柔性封装。

胶粘剂环节，太空环境对胶粘剂的耐高低温、抗紫外、低出气、高粘结稳定性要求严苛，空间级有机硅胶成为当前主流选择，但存在成本高、封装工艺复杂等问题。行业正积极推进改性环氧树脂、UV 固化胶、改性 POE、丁基胶等新型方案，兼顾可靠性与低成本，适配晶硅、钙钛矿、砷化镓等多技术路线。具备地面高端胶膜技术积累，并完成航天环境验证的企业，有望在封装环节实现国产替代。

互联片环节，空间太阳能电池阵由多块单体电池经导电材料互联构成，目前空间太阳能电池互连片普遍采用纯银材质，长寿命、低成本、柔性化趋势下，可伐合金具备优异的抗原子氧侵蚀能力、且可降低成本，企业积极推进研发；导电胶等低温焊接技术可降低超薄硅片碎片及脱焊风险，或将成为后续趋势。



图表43: CIC辅材迭代方向及相关标的

	地面组件	CIC-当前体系	CIC-发展方向 (柔性化、低成本)	相关标的
技术路线	晶硅 (N型 TOPCon、BC、HJT 等)	刚性砷化镓、P型晶硅	柔性砷化镓、晶硅 (P型 HJT)、晶硅/钙钛矿叠层	/
电池片-导电浆料	银浆、贱金属浆料	纯银浆料	低温纯银浆料	聚和材料、帝科股份、苏州固得
组件/CIC-正面盖板	压延玻璃	掺铈玻璃盖板	UTG 玻璃、CPI 膜	钧达股份、福斯特、
组件/CIC-底层底板	玻璃/背板	铝蜂窝夹层板	聚酰亚胺 (PI)/铝箔 (Al)/聚酰亚胺 (PI) 结构	蓝思科技、凯盛科技、沃格光电、瑞华泰 等
组件/CIC-胶粘剂	EVA/POE/EPE 树脂胶膜	空间级有机硅胶	改性硅胶、改性环氧树脂、UV 固化胶等	福斯特、赛伍技术、鹿山新材 等
组件/CIC-汇流	焊带 (镀锡铜带)	贵金属焊带 (高纯银箔)	可伐材料、导电胶等	宇邦新材、德邦科技 等

来源: 国金证券研究所梳理

从需求端看,全球通信卫星进入高速增长发射阶段,算力卫星步入规划落地期,推动太空光伏装机需求量由百 MW 向百 GW 级别迈进,太阳翼面积与单星功率的大幅提升,将直接带动导电浆料、封装材料、基板材料、胶粘剂、汇流互联等辅材需求扩容。由于航天产业链对发射成本的影响容忍度较低、对材料可靠性的要求极高,太空辅材价值量有望显著高于地面同类产品,成为光伏产业链新的高附加值赛道。

具备航天级验证与在轨应用能力的材料体系将优先受益于行业放量,建议关注以下方向:

- 1) 适配低温与太空环境的导电浆料: 聚和材料, 苏州固得, 帝科股份;
- 2) 柔性封装核心 UTG/CPI 薄膜材料: 钧达股份、福斯特、沃格光电、瑞华泰、蓝思科技、凯盛科技、奥来德 等;
- 3) 潜在空间级封装胶粘剂企业: 福斯特, 赛伍技术 等;
- 4) 潜在高可靠性汇流材料企业: 宇邦新材, 德邦科技 等。

图表44: 相关标的估值表 (亿元, 倍)

证券代码	名称	货币	股价	总市值	2025年 归母净利润	2026E		2027E		2028E	
						归母净利润	PE	归母净利润	PE	归母净利润	PE
002865.SZ	钧达股份	CNY	98.86	296	-14.16	6.78	44	10.07	29	13.58	22
2865.HK	钧达股份	CNY	34.59	109	-14.16	6.78	16	10.07	11	13.58	8
688503.SH	聚和材料	CNY	116.20	269	4.20	10.03	27	12.17	22	13.48	20
603806.SH	福斯特	CNY	16.62	435	7.70	16.75	26	21.25	20	25.77	17
002079.SZ	苏州固得*	CNY	12.92	115	0.73	0.99	116	1.20	96		
300842.SZ	帝科股份*	CNY	95.58	140	-2.76	3.89	36	5.88	24	6.97	20
603773.SH	沃格光电*	CNY	77.76	159	-1.58	0.52	309	1.52	105	2.91	55
688323.SH	瑞华泰*	CNY	37.32	56	-0.92						
300433.SZ	蓝思科技*	CNY	36.31	2004	40.18	56.09	36	71.60	28	85.09	24
600552.SH	凯盛科技*	CNY	18.15	173	1.29	2.17	80	2.59	67	3.41	51
688378.SH	奥来德*	CNY	50.33	130	0.72	3.13	41	4.09	32	5.47	24
603212.SH	赛伍技术*	CNY	14.61	65	-2.68	1.52	43	1.58	41		
603051.SH	鹿山新材*	CNY	24.35	40	-0.73						
301266.SZ	宇邦新材*	CNY	38.66	42	0.29						
688035.SH	德邦科技*	CNY	89.95	124	1.08	1.80	69	2.77	45	3.58	35

来源: Wind, 国金证券研究所 (带“*星号”公司采用 wind 一致盈利预期, 其余公司采用国金证券盈利预测, 股价采用 2026/5/20 收盘价)



7 风险提示

商业航天产业发展不及预期：太空光伏电池片是卫星太阳翼的重要组成部分，若全球卫星星座建设因融资环境变化、关键技术突破迟滞或政策监管不确定性等因素放缓，将导致光伏产品需求规模不及预期。

辅材企业技术迭代不及预期：太空光伏辅材相关技术的长期太空可靠性仍需充分验证，若其在强辐射、原子氧等极端环境下的衰减防护技术攻关不及预期，将导致产品无法满足主流星座的要求。



行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级(含C3级)的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-80234211	电话：010-85950438	电话：0755-86695353
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	邮编：100005	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路1088号 紫竹国际大厦5楼	地址：北京市东城区建国内大街26号 新闻大厦8层南侧	地址：深圳市福田区金田路2028号皇岗商务中心 18楼1806



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究